

# Meteostanice používající technologii LoraWAN

Meteostation Using LoraWAN Network

**Ondřej Knebl**

Bakalářská práce

Vedoucí práce: Ing. Marek Dvorský, Ph.D.

Ostrava, 2021

## **Abstrakt**

Cílem práce je sestavit a oživit jednoduchou meteostanici osazenou základními čidly komunikujícími přes síť LoRaWAN. Práce stručně popisuje technologii LoRa a síť LoRaWAN. Dále je popsána meteorologie, její historie, vybrané základní jevy zkoumané meteorologií a popis funkcionality čidel pro měření počasí. Jádrem práce je třetí část, která je věnována návrhu stanice včetně solárního napájení. V poslední části je uvedeno porovnání naměřených hodnot počasí sestrojenou meteostanicí s hodnotami naměřenými klasickými přístroji. Celý postup je detailně zdokumentován formou návodu a publikován na webu <https://lora.vsb.cz>.

## **Klíčová slova**

čidla pro měření počasí; LoRa; LoRaWAN; meteorologická stanice; solární napájení meteostanice

## **Abstract**

The aim of the bachelor thesis is to assemble and revive a simple weather station equipped with basic sensors that communicate via LoRaWAN network. The LoRa technology and LoRaWAN network is briefly described in this thesis. The author discusses meteorology and its history, selected basic phenomena researched by meteorology and further describes the functionality of sensors for measuring weather. The core of the thesis is the third part, which is dedicated to the design of the weather station and its solar power supply. In the final part of the bachelor thesis the author compares the measured weather values by constructed weather station with the values measured by conventional meteorological instruments. The whole procedure was documented in the form of instructions and published on the web <https://lora.vsb.cz>.

## **Key words**

weather sensors; LoRa; LoRaWAN; weather station; solar powered weather station

## **Poděkování**

Rád bych touto cestou vyjádřil svůj dík Ing. Marku Dvorskému, Ph.D. za odbornou pomoc, konzultace, trpělivost a ochotu při vedení mé bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat mé rodině za podporu a obětavost, bez které by práce nešla tak snadno.

# Obsah

Úvod .....	- 9 -
1 Technologie LoRa a síť LoRaWAN.....	- 10 -
2 Meteorologie a meteorologická stanice .....	- 12 -
2.1 Meteorologie a její historie .....	- 12 -
2.2 Jevy zkoumané meteorologií.....	- 12 -
2.2.1 Měření teploty vzduchu .....	- 12 -
2.2.2 Měření vlhkosti vzduchu.....	- 12 -
2.2.3 Měření rychlosti a směru větru .....	- 12 -
2.2.4 Měření srážek .....	- 13 -
2.2.5 Měření intenzity přirozeného světla .....	- 13 -
2.2.6 Měření atmosférického tlaku .....	- 13 -
2.3 Meteorologická stanice .....	- 13 -
2.4 Čidla pro měření počasí.....	- 15 -
2.4.1 Čidlo teploty .....	- 15 -
2.4.2 Čidlo teploty a vlhkosti .....	- 18 -
2.4.3 Čidlo rychlosti větru.....	- 20 -
2.4.4 Čidlo směru větru .....	- 21 -
2.4.5 Čidlo množství srážek .....	- 22 -
2.4.6 Čidlo intenzity světla.....	- 23 -
3 Návrh a praktická realizace meteorologické stanice.....	- 26 -
3.1 Návrh meteorologické stanice.....	- 26 -
3.1.1 Adafruit Feather 32u4 RFM95 LoRa Radio .....	- 26 -
3.1.2 Návrh zapojení čidel k Adafruit Feather a měření napětí akumulátoru. -	27 -
3.1.3 Návrh desky plošných spojů .....	- 28 -
3.2 Návrh solárního napájení stanice .....	- 29 -
3.2.1 Návrh první .....	- 29 -
3.2.2 Návrh druhý.....	- 30 -
3.2.3 Návrh třetí .....	- 31 -
3.3 Sestavení a oživení meteorologické stanice.....	- 31 -
3.3.1 Přípravné práce .....	- 32 -
3.3.2 Sestavení čidel .....	- 32 -

3.3.3	Test čidel a vytvořeného programu.....	- 35 -
3.3.4	Popis vytvořeného programu .....	- 36 -
3.3.5	Výroba a osazení desky plošných spojů.....	- 38 -
3.3.6	Sestavení odbočné krabice .....	- 40 -
3.3.7	Sestavení meteorologické stanice .....	- 40 -
3.4	Postup realizace solárního napájení stanice .....	- 42 -
3.4.1	Sestavení solárního panelu.....	- 42 -
3.4.2	Sestavení solární nabíječky.....	- 43 -
3.4.3	Dokončení sestavení solárního napájení stanice.....	- 43 -
3.5	Umístění a montáž meteorologické stanice do venkovního prostředí .....	- 44 -
3.6	Vizualizace naměřených dat v aplikaci Grafana .....	- 45 -
3.7	Kalkulace nákladů .....	- 46 -
4	Ověření funkčnosti meteorologické stanice.....	- 47 -
5	Závěr .....	- 48 -
	Použitá literatura.....	- 49 -
	Seznam příloh.....	- 52 -

## Seznam použitých zkratek

Zkratka	Význam
<b>ADC</b>	Analog-to-Digital Converter
<b>ADDR</b>	Address
<b>AMP</b>	Amplifier
<b>CSS</b>	Chirp Spread Spectrum
<b>ČHMÚ</b>	Český hydrometeorologický ústav
<b>FSK</b>	Frequency Shift Keying
<b>GND</b>	Ground
<b>IDE</b>	Integrated Development Environment
<b>IoT</b>	Internet of Things
<b>LED</b>	Light-Emitting Diode
<b>LoRa</b>	Long Range
<b>LoRaWAN</b>	Long Range Wide Area Network
<b>LPWAN</b>	Low Power Wide Area Network
<b>MAC</b>	Media Access Control
<b>MQTT</b>	Message Queuing Telemetry Transport
<b>NB-IoT</b>	Narrowband Internet of Things
<b>NC</b>	Not Connected
<b>NTC</b>	Negative Temperature Coefficient
<b>OSC</b>	Oscillator
<b>PD</b>	Photodiode
<b>PVC</b>	polyvinylchlorid
<b>RAM</b>	Random Access Memory
<b>RM OSI</b>	Reference Model Open Systems Interconnection
<b>ROM</b>	Read Only Memory
<b>SCL</b>	Serial Clock
<b>SDA</b>	Serial Data
<b>SEČ</b>	středoevropský čas
<b>TTN</b>	The Things Network
<b>USB</b>	Universal Serial Bus
<b>UTP</b>	Unshielded Twisted Pair
<b>Vcc</b>	Voltage Common Collector
<b>VDD</b>	Drain Power Voltage

## Seznam použitých symbolů

Symbol	Jednotky	Význam symbolu
I	A	Proud
P	W	Výkon
R	$\Omega$	Odpor
U	V	Napětí



## Úvod

Má bakalářská práce se věnuje návrhu a realizaci meteorologické stanice, která je připojena prostřednictvím sítě LoRaWAN (Long Range Wide Area Network). V dnešní době je sledování meteorologických jevů a veličin velmi důležité, protože díky získaným datům můžeme podle meteorologických modelů předpovídat počasí. Předpověď počasí nám může pomoci například včas evakuovat lidi z domovů před povodněmi nebo upozornit sadaře na blížící se mrazy. Aktuální hodnoty veličin počasí nám mohou zase říci, jak se vhodně obléknout na vycházku.

První kapitola popisuje technologii LoRa (Long Range) a síť LoRaWAN.

Druhá kapitola pojednává o samotné meteorologické stanici. Dále se věnuje meteorologii, její historii a vybranými základními jevy zkoumanými meteorologií. Kapitola rovněž obsahuje popis jednotlivých čidel pro měření počasí.

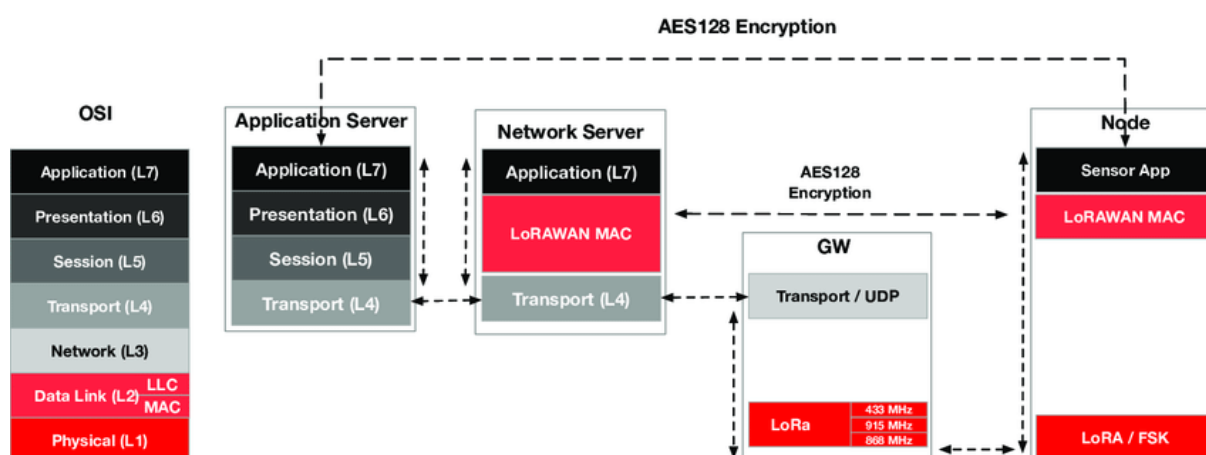
Třetí kapitola se zabývá návrhem a realizací meteorologické stanice. Popisuje také návrh a realizaci napájení solární stanice včetně nabíjení akumulátoru.

Poslední čtvrtá kapitola ověřuje správnost návrhu a konstrukce měření.

# 1 Technologie LoRa a síť LoRaWAN

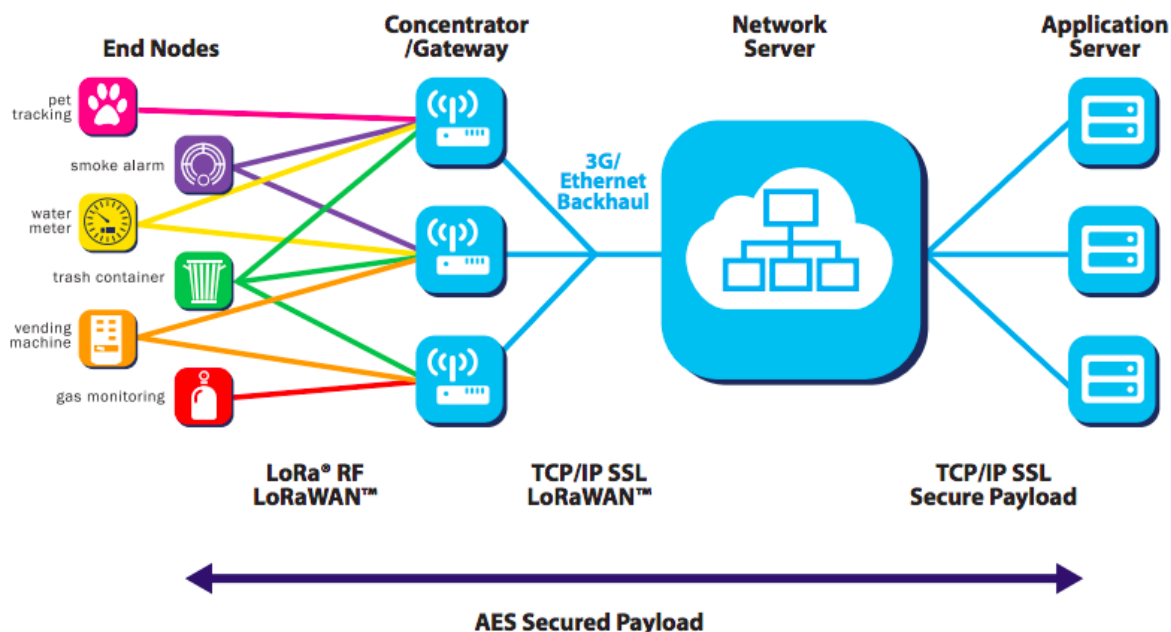
Síť LoRaWAN patří mezi největší zástupce LPWAN (Low Power Wide Area Network) sítí. LPWAN je označení globální sítě pro zařízení, která mají nízkou spotřebu energie, jsou nenáročná na rychlost přenosu dat a odesílaná data nejsou ve velkých objemech. Proto jsou tyto sítě vhodné pro IoT (Internet of Things) zařízení, například senzory napájené z baterií. Dalšími představiteli LPWAN sítí jsou technologie SigFox a NB-IoT (Narrowband Internet of Things). [1][2][3]

LoRaWAN je otevřený standard definující architekturu sítě a komunikační protokoly. LoRa je rádiová modulace založená na principu rozptýřeného spektra. Tato modulace je odvozená z technologie CSS (Chirp Spread Spectrum). LoRa leží na fyzické vrstvě modelu RM OSI (Reference Model Open Systems Interconnection) a LoRaWAN leží nad fyzickou vrstvou na podvrstvě MAC (Media Access Control) spojové vrstvy viz obr. 1.1. O standardizaci LoRaWAN se stará nezisková organizace LoRa Alliance. [4][5][6]



Obrázek 1.1: LoRa a LoRaWAN - RM OSI [7]

Architektura sítě LoRaWAN má obvykle topologii hvězda. Síť se skládá z koncových zařízení, bran a centrálního síťového serveru viz obr. 1.2. Brány předávají zprávy mezi koncovými zařízeními a centrálním síťovým serverem. Brány jsou připojeny k síťovému serveru prostřednictvím mobilní sítě nebo pomocí zabezpečeného připojení do internetu, zatímco koncová zařízení používají bezdrátovou komunikaci s jedním hopem (single-hop) k jedné nebo více branám. Z centrálního síťového serveru jsou data odesílána na aplikační servery. Veškerá komunikace koncového bodu je obecně obousměrná. [4][8]

Obrázek 1.2: *Infrastruktura sítě LoRaWAN [9]*

LoRaWAN pracuje v Evropě v bezlicenčním pásmu na frekvenci 868 MHz. Přenosové rychlosti LoRaWAN jsou až 50 kbit/s, velikost zprávy je volitelná a počet zpráv za den není omezen. Další vlastnosti LoRaWAN jsou uvedeny v tab. 1.1. Z důvodu bezpečnosti je zabezpečení v síti LoRaWAN realizováno na několika úrovních. [1][10]

Tabulka 1.1: *Vlastnosti LoRaWAN [1][11]*

<b>Frekvence</b>	868 MHz
<b>Šířka pásma</b>	125 kHz a 250 kHz
<b>Rychlost přenosu</b>	až 50 kbit/s
<b>Velikost zprávy</b>	volitelné
<b>Počet zpráv za den</b>	neomezeno
<b>Dosah v terénu</b>	až 15 km
<b>Vysílací výkon</b>	max. 14 dBm
<b>Modulace</b>	FSK – CSS

## 2 Meteorologie a meteorologická stanice

### 2.1 Meteorologie a její historie

Meteorologie je věda, která se zabývá zemskou atmosférou, jejím složením, vlastnostmi a ději v ní probíhajícími. Zkoumá především troposféru a stratosféru, které jsou z hlediska předpovědi počasí nejdůležitější.

Lidé byli odedávna závislí na počasí nejen z důvodu pěstování zemědělských plodin, a proto se snažili počasí pozorovat, studovat a analyzovat. V dřívějších dobách měli omezené možnosti a většina výkladu jevů byla založena na náboženství a nadpřirozenu. Pojmem „meteora“ se označovaly všechny věci ve vzduchu (věci nadzemské). Základy meteorologie pochází ze 4. století př. n. l., kdy řecký učenec Aristoteles dokončil knihu „Meteorologica“, ve které se snažil objasnit změny počasí pomocí přírodních procesů. Později se meteorologickým jevům věnoval Leonardo da Vinci, jenž sestavil vlhkoměr, Galileo Galilei s kapalinovým teploměrem, Jan Evangelista Torricelli se rtuťovým barometrem či Robert Hooke, který sestrojil anemometr. Od 17. století jsou kromě mnohých objevů dalších přístrojů používaných při zkoumání atmosférických jevů datována první systematická meteorologická pozorování v Evropě, v 18. století zrod meteorologické společnosti disponující 39 meteorologickými stanicemi a v 19. století pak vznik sítě meteorologických stanic a prvních meteorologických ústavů. Ve 20. století dochází k rozvoji radarové a družicové meteorologie a numerické předpovědi počasí. V současnosti jsou díky internetu snímky z radarů a družic, numerické modely a aktuální údaje z meteorologických stanic dostupné i pro veřejnost.[12][13][14]

### 2.2 Jevy zkoumané meteorologií

Tato podkapitola se zabývá vybranými základními jevy zkoumanými meteorologií.

#### 2.2.1 Měření teploty vzduchu

Teplota vzduchu je momentální tepelný stav ovzduší. K měření se nejčastěji používají lihové a rtuťové teploměry, digitální teplotní čidla aj. Teplota vzduchu se obvykle měří ve stupních Celsia (°C) nebo stupních Fahrenheita (°F).

#### 2.2.2 Měření vlhkosti vzduchu

Vlhkost vzduchu vypovídá o tom, jaké množství vodní páry je obsaženo v určitém objemu vzduchu. Vlhkost vzduchu dělíme na absolutní a relativní. Měří se nejčastěji psychrometrem, vlhkoměrem (hygrometrem) aj. Relativní vlhkost vzduchu se udává v procentech (%).

#### 2.2.3 Měření rychlosti a směru větru

Rychlost větru je vzdálenost, kterou urazí pohybující se vzduch za jednotku času. Měří se zejména pomocí anemometru aj. Udává se nejčastěji v metrech za sekundu (m/s) nebo v kilometrech za hodinu (km/h). Podle Beaufortovy stupnice síly větru můžeme například hodnoty v rozsahu 0,0 - 0,2 m/s označit za bezvětří, 1,6 - 3,3 m/s za slabý vítr a 20,8 - 24,4 m/s za vichřici.

Směr větru znamená odkud vane vítr. Určuje se většinou pomocí větrných směrovek nebo větrného rukávu. Udává se obvykle azimutem v úhlových stupních od 1 do 360° nebo v osmidílné stupnici směrů větru.

#### 2.2.4 Měření srážek

Atmosférické srážky, tzn. všechna atmosférická voda v kapalném nebo pevném skupenství dopadávající z oblaků na zemský povrch se měří zejména srážkoměrem (hyetometrem) aj. Měří se úhrny srážek obvykle za 24 hodin, skupenství, doba trvání a intenzita srážek. Množství spadlých srážek se udává v milimetrech (mm) nebo v litrech na metr čtvereční ( $l/m^2$ ).

#### 2.2.5 Měření intenzity přirozeného světla

Intenzita přirozeného světla, tzn. množství světelného toku, které se rozprostírá v daném čase na určité ploše, se obvykle měří luxmetrem. Značí se v luxech (lx). Hodnoty intenzity přirozeného světla jsou například 100 - 10000 lx při zatažené obloze nebo 10000 lx a více při jasné obloze.

#### 2.2.6 Měření atmosférického tlaku

Atmosférický tlak znamená, jakou silou působí atmosféra kolmo na povrch země o velikosti  $1 m^2$ . K měření se používají kovové tlakoměry (aneroidy), rtuťové tlakoměry (barometry) aj. Atmosférický tlak se měří v pascálech (Pa), případně v jejich násobcích. Normální atmosférický tlak má hodnotu 1013,25 hPa.

### 2.3 Meteorologická stanice

Meteorologická stanice je zařízení pro měření meteorologických jevů, prvků a veličin. Díky datům získaným z meteorologických stanic můžeme pomocí meteorologických modelů předpovídat počasí.

Meteorologické stanice můžeme rozdělit na čtyři kategorie podle zaměření pracoviště, umístění, charakteru získávání dat a stupně součinnosti s člověkem. Kategorii podle zaměření pracoviště můžeme dále rozdělit na synoptické, klimatologické a srážkoměrné stanice. Kategorii dle stupně součinnosti s člověkem můžeme rozdělit na meteorologické stanice automatické nebo s lidskou obsluhou. [15]

Synoptické meteorologické stanice jsou obsluhovány zaměstnanci ČHMÚ (Český hydrometeorologický ústav). Měření meteorologických prvků na těchto stanicích se provádí nepřetržitě v hodinových intervalech a naměřená data se pomocí počítače ihned odesílají do ČHMÚ. Měří se zde prakticky vše, co s průběhem počasí a ději v atmosféře souvisí. [16]

Klimatologické stanice jsou obsluhovány dobrovolnými spolupracovníky ČHMÚ. Měří a zaznamenávají se zde všechny základní meteorologické prvky, jevy, množství spadlých srážek, výška sněhové pokrývky a její vodní hodnota. Měření se na těchto stanicích provádějí třikrát denně v klimatologických termínech 7, 14 a 21 hodin SEČ (středoevropský čas). [16]

Srážkoměrné stanice jsou rovněž obsluhovány dobrovolnými spolupracovníky ČHMÚ. Úkolem dobrovolníků je průběžně sledovat a zaznamenávat meteorologické jevy, jejich druh, intenzitu a časový výskyt. Dále musí zjišťovat množství spadlých srážek, výšku sněhové pokrývky a její vodní hodnotu v klimatologickém termínu 7 hodin SEČ. [16]

Klasická meteorologická stanice s manuální obsluhou se většinou skládá z meteorologické budky, srážkoměru a meteorologického stožáru, ale může být vybavena i dalšími částmi a přístroji.

Meteorologická budka je sestavena z šikmé střechy, třech bočních stěn, dveří a spodní strany s mřížkou. Boční stěny i dvířka jsou tvořeny žaluziemi, které dovolují volný průchod vzduchu do budky a zároveň chrání měřicí přístroje před deštěm, sněhem a slunečním zářením. Nedochází tak k ovlivňování naměřených hodnot těmito vlivy. Meteorologická budka je umístěna na čtyřech nohách

ve výšce nejméně 1,8 m od země. Budka musí být svými dvířky otočena na severní stranu, aby na měřicí přístroje při odečítání naměřených hodnot nesvítlo slunce. Z důvodu snadnějšího přístupu jsou k budce přistaveny schody viz obr. 2.1.



Obrázek 2.1: *Meteorologická budka [17]*

V meteorologické budce je umístěn suchý teploměr, vlhký teploměr s nádobou na vodu, maximální teploměr, minimální teploměr a vlasový vlhkoměr viz obr. 2.2. Výše uvedené teploměry musí být ve výšce 2 m nad zemí. Dále zde může být umístěn termograf a hydrograf.



Obrázek 2.2: *Vnitřní vybavení budky [16]*

Suchý teploměr je rtuťový meteorologický staniční teploměr, kterým se měří okamžitá teplota vzduchu.

Vlhký teploměr je stejný typ teploměru, jako suchý teploměr, ale spodní baňku se rtutí má obalenou vlhkou látkou, která je z části ponořená v nádobce s vodou pod teploměrem. Teplota změřená vlhkým teploměrem se tedy rovná teplotě při 100 % relativní vlhkosti vzduchu. [18]

Maximální teploměr je rtuťový teploměr pracující na stejném principu jako lékařský teploměr. To znamená, že rtuťový sloupec se zastaví na nejvyšší naměřené hodnotě a před dalším měřením je nutno rtuť teploměru sklepat do spodní baňky se rtutí. Teploměr musí být v mírně nakloněné poloze. Maximálním teploměrem se měří nejvyšší teplota za období předchozích 24 hodin, to je od 21 hodin SEČ předchozího dne do 21 hodin SEČ dne měření. [19]

Minimální teploměr je naplněn etylalkoholem. Uvnitř teploměru je skleněná tyčinka, tzv. index, která je posouvána koncem etylalkoholového sloupce na minimální hodnotu. Po odečtení naměřených dat je před dalším měřením nutno překloupit teploměr tak, aby index sklouznul zpět k etylalkoholovému sloupci. Při překloupení teploměru na špatnou stranu dojde ke zničení teploměru.

Vlasový vlhkoměr se skládá z několika odmaštěných vlasů, které jsou v přístroji napnuty tak, aby k nim měl přístup vzduch. Vlasy mění svou délku v závislosti na vlhkosti a přes pákový převod je zobrazována relativní vlhkost vzduchu ručičkou na dané stupnici přístroje. [20]

Termograf zaznamenává průběh teploty po celý den a hygrograf zaznamenává průběh relativní vlhkosti vzduchu po celý den.

Vedle meteorologické budky se většinou nachází minimální přízemní teploměr a půdní teploměr. Minimální přízemní teploměr je umístěn 5 cm nad zemí. Jedná se o stejný typ minimálního teploměru, který je součástí vybavení budky. Půdní teploměr je určen pro měření teploty půdy v různých hloubkách. Konstrukcí se liší od ostatních teploměrů tím, že je jedna jeho část ohnutá.

Srážkoměr se používá pro měření množství spadlých srážek. Nejčastěji je tvořen válcem s trychtýřem, kterým se srážky svádějí do nádoby uvnitř válce. [21]

Na meteorologickém stožáru ve výšce 10 m jsou umístěny měřicí přístroje pro měření rychlosti a směru větru.

Promrznutí půdy se v zimě měří půdním mrazoměrem a výška sněhové pokrývky sněhoměrnými tyčemi nebo latěmi.

Automatické meteorologické stanice automaticky měří všechny jevy a veličiny počasí pomocí elektronických čidel a odesílají naměřená data ve stanovených intervalech nebo časech. Někdy jsou také automatické a manuální meteorologické stanice vedle sebe a manuální slouží pouze jako záložní nebo pro potvrzování správnosti naměřených dat automatickou stanicí.

## 2.4 Čidla pro měření počasí

V této podkapitole jsou popsána vybraná čidla pro měření počasí, která jsou součástí sestavené automatické meteorologické stanice. U každého čidla je uveden jeho typ, konstrukce a funkcionality.

### 2.4.1 Čidlo teploty

Pro měření přízemní teploty byla zvolena vodotěsná varianta digitálního čidla teploty DS18B20, protože bude vystaveno působení srážek a povětrnostním vlivům.

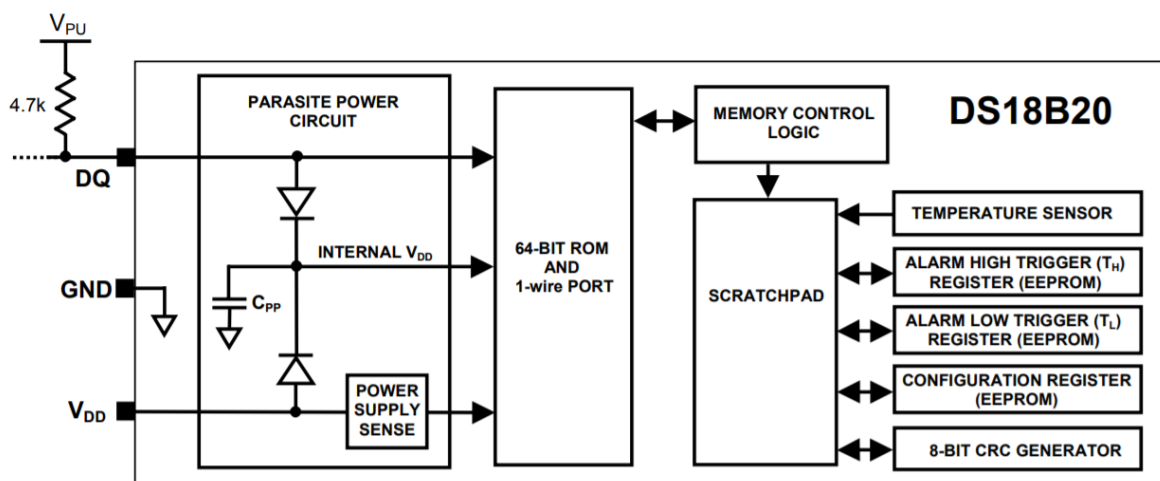
Digitální vodotěsné čidlo teploty DS18B20 se skládá z teplotního senzoru a tří izolovaných vodičů, žlutého pro DATA, černého pro GND a červeného pro VDD, s PVC (polyvinylchlorid) pláštěm. Teplotní senzor je uložen v nerezovém pouzdře. Mezi nerezovým pouzdem a PVC pláštěm vodičů je umístěna teplem smrštitelná trubičková bužírka viz obr. 2.3.



Obrázek 2.3: Digitální vodotěsné čidlo teploty DS18B20

Funkcí digitálního vodotěsného čidla teploty DS18B20 je měření teploty. Čidlo umožňuje měřit teploty v rozsahu  $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$  až  $125\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Při teplotách v rozsahu  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  až  $85\text{ }^{\circ}\text{C}$  je přesnost měření  $\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . [22]

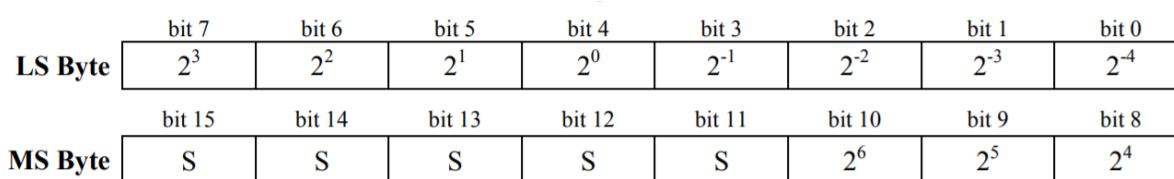
Na blokovém schématu viz obr. 2.4 je 64bitová ROM (Read Only Memory) paměť, ve které je uloženo unikátní sériové číslo čidla. Zápisníková (scratchpad) paměť obsahuje 2bajtový teplotní registr, který ukládá digitální data z výstupu teplotního senzoru. Dále zápisníková paměť poskytuje přístup k 1bajtovým registrům horní a dolní spouště alarmu (TH a TL) a 1bajtovému konfiguračnímu registru. Konfigurační registr umožňuje uživateli nastavit rozlišení převodu teploty na digitální data. Registry TH, TL a konfigurační registr si uchovávají nastavená data i po vypnutí napájení. DS18B20 dále obsahuje obvod pro napájení při zapojení v parazitním režimu bez externího napájecího zdroje. [22]



Obrázek 2.4: Blokové schéma DS18B20 [22]



DS18B20 převádí hodnoty teploty na bity. Teplota se na 12bitové slovo převede za 750 ms. Rozlišení měřené teploty si může uživatel zvolit na 9, 10, 11 nebo 12 bitů, což odpovídá přírůstkům teploty 0,5 °C, 0,25 °C, 0,125 °C a 0,0625 °C. Výchozí hodnota rozlišení je 12 bitů. Teplotní data z výstupu senzoru jsou uložena v registru jako 16bitové číslo se znaménkovým rozšířením (sign extension) viz obr. 2.5, kde S indikuje, jestli je teplota kladná nebo záporná. Když je S rovno nule, tak je číslo kladné. Když je S rovno jedné, tak je číslo záporné. Pokud je DS18B20 nakonfigurováno pro 12bitové rozlišení, pak budou všechny bity v teplotním registru obsahovat platná data. Pro 11bitové rozlišení bude bit 0 nedefinovaný. Pro 10bitové rozlišení budou bity 1 a 0 nedefinované a pro 9bitové rozlišení budou nedefinované bity 2, 1 a 0. Příklady převodů teplot do dvojkové a šestnáctkové soustavy jsou uvedeny v tab. 2.1. [22]



Obrázek 2.5: Formát teplotního registru [22]

Tabulka 2.1: Převody teplot [22]

Teplota	Digitální výstup (binární)	Digitální výstup (hexadecimální)
+125 °C	0000 0111 1101 0000	07D0
+85 °C	0000 0101 0101 0000	0550
+25,0625 °C	0000 0001 1001 0001	0191
+10,125 °C	0000 0000 1010 0010	00A2
+0,5 °C	0000 0000 0000 1000	0008
0 °C	0000 0000 0000 0000	0000
-0,5 °C	1111 1111 1111 1000	FFF8
-10,125 °C	1111 1111 0101 1110	FF5E
-25,0625 °C	1111 1110 0110 1111	FE6F
-55 °C	1111 1100 1001 0000	FC90

Čidlo se zapojuje pomocí tří vodičů a ke své funkci potřebuje stabilizované napájecí napětí v rozmezí od 3 V do 5,5 V. Červený vodič se připojuje na napájecí napětí (VDD), černý vodič na zem (GND) a žlutý vodič (DQ) slouží pro přenos dat po sběrnici 1-Wire. Na sběrnici 1-Wire může být zároveň připojeno více čidel DS18B20 současně, protože každé čidlo má unikátní 64bitové sériové číslo, které nelze uživatelsky měnit. Toto čidlo může být také zapojeno v parazitním režimu, kdy jsou použity pouze dva vodiče. [23][24]

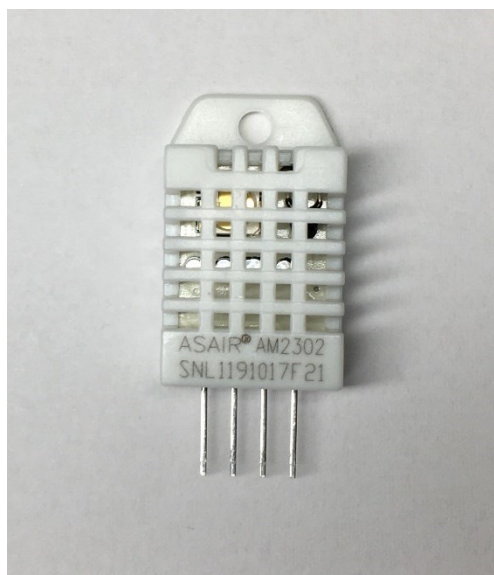
#### 2.4.2 Čidlo teploty a vlhkosti

Pro měření teploty a vlhkosti vzduchu bylo použito čidlo teploty a vlhkosti vzduchu ASAIR AM2302 (DHT22), které bylo umístěno do radiačního štítu z meteostanice WH1080 viz obr. 2.6.



Obrázek 2.6: *Radiační štít*

Čidlo teploty a vlhkosti vzduchu ASAIR AM2302 se skládá z plastového obalu s mřížkou, ve kterém je umístěna deska plošných spojů v přední části osazená termistorem a kapacitním polymerovým senzorem vlhkosti. Zadní část čidla je zalitá plastem. Z plastového obalu jsou vyvedeny čtyři piny viz obr. 2.7.

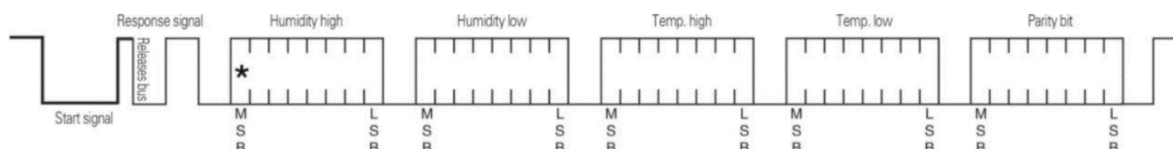


Obrázek 2.7: *Čidlo teploty a vlhkosti vzduchu ASAIR AM2302*

Funkcí čidla teploty a vlhkosti vzduchu ASAIR AM2302 je měření teploty a vlhkosti vzduchu. Čidlo umožňuje měřit teploty v rozsahu  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  až  $80\text{ }^{\circ}\text{C}$  a vlhkost v rozsahu 0 až 99,9 %. Přesnost měření teploty je  $\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  a vlhkosti  $\pm 2\text{ }%$ . Velikost rozlišení teploty je  $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$  a vlhkosti  $0,1\text{ }%$ . [25]

Čidlo se zapojuje pomocí tří pinů a jeden pin je nevyužitý. První pin (VDD) se připojuje na napájecí napětí, druhý pin (SDA) slouží pro přenos dat po sběrnici, třetí pin (NC) se nezapojuje a čtvrtý pin (GND) se připojuje na zem. Čidlo ke své funkci potřebuje stabilizované napájecí napětí v rozmezí od 3,3 V do 5,5 V. Při napájení napětím 3,3 V by neměla být délka kabelu k čidlu delší než 100 cm. [25]

Na obr. 2.8 je ukázka záznamu synchronizace (Start signal, Response signal) a komunikace (zaslání 2x 8 bitů vlhkosti, 2x 8 bitů teploty a zaslání součtu předchozích čtyř bajtů) mezi mikroprocesorem a čidlem AM2302. Interval mezi čtením dat by neměl být kratší než 2 s, jinak může dojít k chybě komunikace s čidlem. [25]



Obrázek 2.8: Synchronizace a komunikace [25]

Například mohou být po sběrnici zaslána tato data [25]:

0000 0010	1001 0010	0000 0001	0000 1101	1010 0010
Vlhkost	Vlhkost	Teplota	Teplota	Součet

Součet se vypočítá sečtením zaslanych hodnot vlhkosti a teploty [25]:

$0000\ 0010 + 1001\ 0010 + 0000\ 0001 + 0000\ 1101 = 1010\ 0010$

Převod vlhkosti a teploty na procenta a stupně Celsia [25]:

$0000\ 0010\ 1001\ 0010 = 0292H = 658 \Rightarrow \text{Vlhkost} = 65,8\ \%$

$0000\ 0001\ 0000\ 1101 = 010DH = 269 \Rightarrow \text{Teplota} = 26,9\ ^\circ\text{C}$

Když je hodnota teploty záporná, tak má nejvýznamnější bit prvního bajtu teploty hodnotu 1. Například teplota  $-10,1\ ^\circ\text{C}$  je vyjádřena jako 1000 0000 0110 0101. [25]

Převod teploty [25]:

$0000\ 0000\ 0110\ 0101 = 0065H = 101 \Rightarrow \text{Teplota} = 10,1\ ^\circ\text{C}$

$1000\ 0000\ 0110\ 0101 \Rightarrow \text{Teplota} = -10,1\ ^\circ\text{C}$

### 2.4.3 Čidlo rychlosti větru

Pro měření rychlosti větru byl použit anemometr z meteostanice WH1080 viz obr.2.9.



Obrázek 2.9: *Anemometr*

Anemometr se skládá z vrchní otáčecí části se třemi miskami a magnetem a ze spodní části s ložiskem a pěti šroubky viz obr. 2.10. Dále je ve spodní části anemometru umístěná deska plošných spojů osazená jazýčkovým magnetickým spínačem viz obr. 2.11. K desce plošných spojů jsou také připájeny dva vodiče, které jsou na druhém konci zakončeny telefonním konektorem RJ11. V konektoru jsou použity dva prostřední kontakty.



Obrázek 2.10: *Části anemometru*



Obrázek 2.11: *Plošný spoj v anemometru*

Funkcí anemometru je měření rychlosti větru. Při měření se tento typ anemometru chová jako spínač. Když je magnet nad magnetickým jazýčkovým spínačem, tak se spínač sepne a propojí vodiče. Když je magnet mimo magnetický jazýčkový spínač, tak je spínač rozepnutý a vodiče jsou rozpojené. Jeden impuls odpovídá rychlosti větru 0,3 m/s. [26]

#### 2.4.4 Čidlo směru větru

Pro měření směru větru byl použit ukazatel směru větru z meteostanice WH1080 viz. obr 2.12.



Obrázek 2.12: Čidlo směru větru

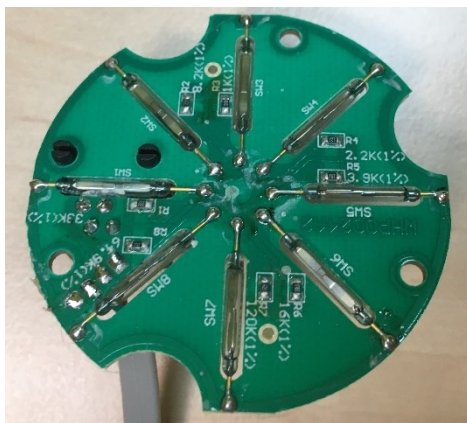
Ukazatel směru větru se skládá z vrchní otáčecí části se směrovkou a magnetem a ze spodní části s ložiskem a šesti šroubky viz obr. 2.13. Dále je ve spodní části ukazatele směru větru umístěna deska plošných spojů osazená osmi jazýčkovými magnetickými spínači, osmi rezistory s různými hodnotami odporu a telefonní zásuvkou RJ11 viz obr. 2.14. Jazýčkové magnetické spínače svým rozmístěním na desce plošných spojů připomínají hvězdicí viz obr. 2.15. K desce plošných spojů jsou také připojeny čtyři vodiče, které jsou na druhém konci zakončeny telefonním konektorem RJ11. V konektoru jsou prostřední dva kontakty použity pro telefonní zásuvku RJ11, do které se zapojuje anemometr. Postranní dva kontakty jsou použity pro ukazatel směru větru.



Obrázek 2.13: Části ukazatele směru větru



Obrázek 2.14: Části ukazatele směru větru



Obrázek 2.15: Plošný spoj ukazatele směru větru

Funkcí ukazatele směru větru je stanovení směru větru. Pro každý z osmi směrů větru je použit jeden magnetický jazýčkový spínač a jeden rezistor s různou hodnotou odporu. Spodní část ukazatele směru větru je možné umístit jen v jednom směru podle anglických zkratk světových stran, které jsou na něm vylisované. Z toho vyplývá, že rezistory mají pro každý směr dané hodnoty odporů. Hodnoty odporů rezistorů pro různé směry jsou uvedeny v tab. 2.2.

Když například vane vítr ze severu, tak je směrovka otočena na sever. Magnet spíná magnetický jazýčkový spínač pro sever a tím je do obvodu mezi dva vodiče připojen rezistor s hodnotou 33 kΩ.

Tabulka 2.2: Hodnoty odporů rezistorů pro směry větru

Světová strana	Česká zkratka světové strany	Anglická zkratka světové strany	Odpor [kΩ]	Tolerance [%]
Sever	S	N	33	± 1
Severovýchod	SV	NE	8,2	± 1
Východ	V	E	1	± 1
Jihovýchod	JV	SE	2,2	± 1
Jih	J	S	3,9	± 1
Jihozápad	JZ	SW	16	± 1
Západ	Z	W	120	± 1
Severozápad	SZ	NW	64,9	± 1

#### 2.4.5 Čidlo množství srážek

Pro měření množství srážek byl použit člunkový srážkoměr z meteostanice WH1080 viz obr. 2.16.



Obrázek 2.16: Člunkový srážkoměr



Srážkoměr je tvořen vrchním krytem a spodní částí. Vrchní kryt má horní část vytvarovanou do hranatého trychtýře. Součástí krytu je také vodováha. Spodní část srážkoměru se skládá z překlápěcího člunku s magnetem, desky plošných spojů osazené jazýčkovým magnetickým spínačem a krytu plošného spoje viz obr. 2.17. K desce plošných spojů jsou rovněž připájeny dva vodiče, které jsou na druhém konci zakončeny telefonním konektorem RJ11. V konektoru jsou použity dva prostřední kontakty.



Obrázek 2.17: Části člunkového srážkoměru

Funkcí člunkového srážkoměru je měření množství srážkových úhrnů. Při dešti jsou srážky zachytávány hranatým trychtýřem, ze kterého se voda nalévá do jedné poloviny překlápěcího člunku. Poté, co dojde k jejímu naplnění, se člunek váhou vody překlápí, voda z první poloviny člunku vyteče a nově spadlé srážky začnou plnit druhou polovinu člunku. Množství srážek nutných pro překlopení člunku je 0,3 mm. Když je člunek v klidové poloze, tak je magnetický jazýčkový spínač rozepnutý. Jakmile dojde k překlápění člunku a člunek se právě nachází ve vodorovné poloze, tak je magnet před jazýčkovým magnetickým spínačem a spínač je sepnutý. Po překlopení do klidové polohy se spínač opět rozepe [27].

#### 2.4.6 Čidlo intenzity světla

Pro měření intenzity světla bylo použito čidlo intenzity světla BH1750, které bylo umístěno do čiré skleněné vialky (lékovky) s hranatým dnem a vnitřním zamačkávacím víčkem viz obr. 2.18.

Čidlo intenzity světla BH1750 se skládá z desky plošných spojů, která je z vrchní části osazena snímačem intenzity světla BH1750FVI-TR, čtyřmi kondenzátory, čtyřmi rezistory a regulátorem napětí. Na spodní straně desky plošných spojů je vyvedeno pět pinů.



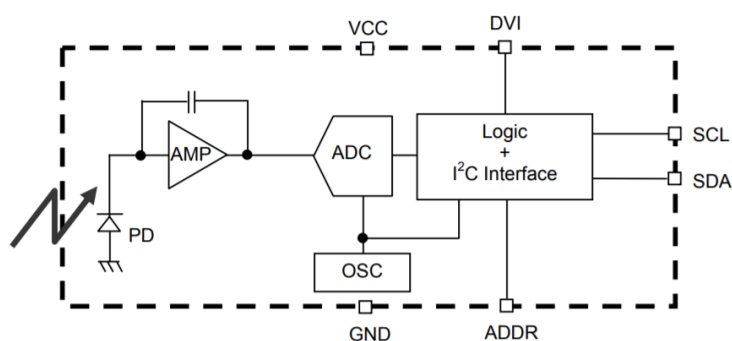
Obrázek 2.18: Čidlo intenzity světla BH1750

Funkcí čidla intenzity světla BH1750 je měření intenzity světla. Čidlo umožňuje měřit intenzitu světla v rozsahu od 1 do 65535 lx. Odchylka měření je  $\pm 20\%$ . [28]

Čidlo může měřit v jednom ze tří režimů rozlišení. Ve vysokém rozlišení 2, kde doba měření trvá 120 ms a rozlišení je 0,5 lx, ve vysokém rozlišení, kde doba měření trvá 120 ms a rozlišení je 1 lx nebo v nízkém rozlišení, kde doba měření trvá 16 ms a rozlišení je 4 lx. Výrobce doporučuje používat měření ve vysokém rozlišení, protože doba měření je delší, a tím je omezen vliv okolního šumu na naměřené hodnoty. [28]

Čidlo se zapojuje pomocí pěti pinů. Pin označený VCC se připojuje na napájecí napětí, pin označený GND se připojuje na zem, datové piny SCL a SDA se připojují na I2C piny použité desky a pin ADDR se může připojit na zem (GND), na napájecí napětí (Vcc) nebo nechat nepřipojený pro zvolení jedné ze dvou volitelných I2C adres. Při připojení pinu na zem nebo nezapojení pinu je adresa 0x23 a při připojení pinu na napájecí napětí (Vcc) je adresa 0x5C. Čidlo ke komunikaci používá sběrnici I2C. Čidlo ke své funkci potřebuje stabilizované napájecí napětí v rozmezí od 3,3 V do 5 V. [28][29]

Na blokovém schématu čidla intenzity světla viz obr. 2.19 je fotodiody (PD), která přeměňuje energii světelného záření na elektrickou energii. Energie z fotodiody je operačním zesilovačem (AMP) převedena na napětí. Poté jsou hodnoty napětí převedeny A/D převodníkem (ADC) na digitální hodnoty. V bloku Logic + I2C interface jsou hodnoty osvětlení převedeny na luxy, a také je zde rozhraní sběrnice I2C. Posledním blokem ve schématu je oscilátor (OSC), který kmitá s frekvencí 320 kHz a je zdrojem hodinového signálu pro interní logiku. [28][30]

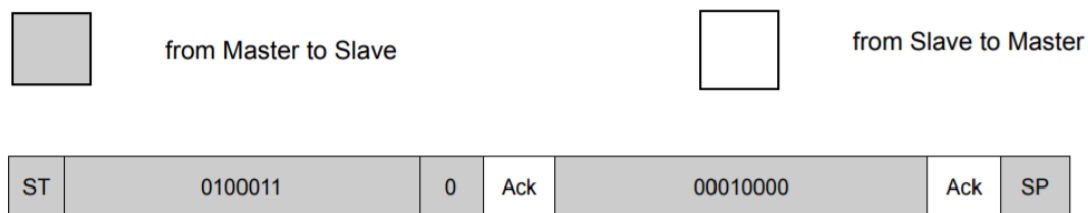


Obrázek 2.19: Blokové schéma čidla intenzity světla [28]



Příklad sekvence měření pro nepřetržité měření ve vysokém rozlišení s adresou čidla 0x23 [28]:

1) Odeslání instrukce:



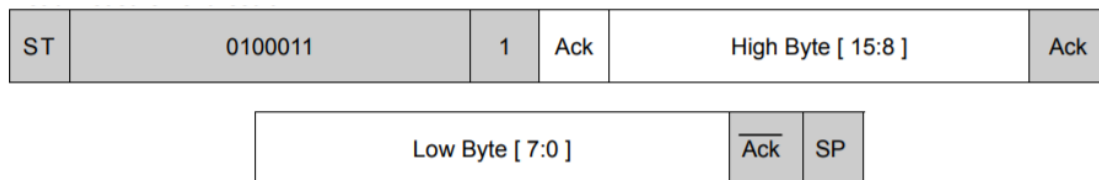
Obrázek 2.20: Odeslání instrukce [28]

Adresa čidla = 0x23 = 0010 0011

Měření ve vysokém rozlišení = 0001 0000

2) Čekání na dokončení odeslání instrukce (maximálně 180 ms).

3) Čtení naměřených výsledků a výpočet hodnoty intenzity světla:



Obrázek 2.21: Čtení naměřených výsledků [28]

Adresa čidla = 0x23 = 0010 0011

Horní bajt = 1000 0011

Dolní bajt = 1001 0000

$$(2^{15} + 2^9 + 2^8 + 2^7 + 2^4) / 1,2 \approx 28\,067 \text{ lx}$$

## 3 Návrh a praktická realizace meteorologické stanice

Tato kapitola se věnuje návrhu a praktické realizaci meteorologické stanice a dále obsahuje návrh a zprovoznění solárního napájení stanice včetně nabíjení akumulátoru.

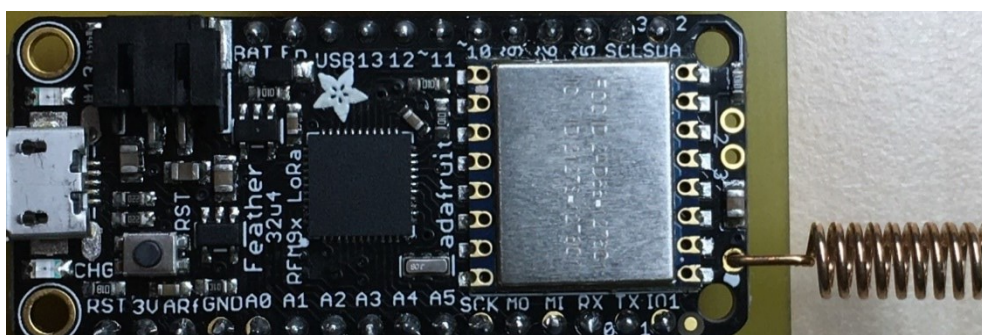
### 3.1 Návrh meteorologické stanice

Základem navrhované meteorologické stanice budou vnější mechanické díly k meteostanici WH1080 (WH1090). Součástí těchto mechanických dílů jsou držáky, stojan, anemometr, ukazatel směru větru, srážkoměr a radiační štít. Veškerá elektronika bude uložena v odbočné krabici T 100 - OBO BETTERMANN o rozměrech 150 x 116 x 67 mm. Do krabice budou kabely od čidel a solárního panelu přivedeny přes dvě kabelové vývodky Pg 13,5. Krabice bude přišroubována k vytvarovanému hliníkovému plechu, který bude sloužit také jako držák solárního panelu nad krabicí. Hliníkový plech bude k trubce meteostanice přichycen pomocí dvou svorek s gumou pro trubky o průměru 17 - 19 mm. Trubka se stanicí bude zasunuta do trubky o vnitřním průměru 20 mm, vnějším průměru 22 mm a délce 90 cm, která bude šrouby upevněna v trubce o vnitřním průměru 36 mm, vnějším průměru 42 mm a délce 150 cm.

#### 3.1.1 Adafruit Feather 32u4 RFM95 LoRa Radio

Zaznamenávání, sčítání a průměrování naměřených dat z čidel obstará deska Adafruit Feather 32u4 RFM95 LoRa Radio, která bude tato naměřená data každých 10 minut odesílat do sítě LoRaWAN.

Adafruit Feather 32u4 RFM95 LoRa Radio viz obr. 3.1 je vývojová deska o rozměrech 51 x 23 x 8 mm a hmotnosti 5,5 g, vybavená mikrokontrolerem ATmega32u4, s taktovací frekvencí 8 MHz a 3,3 V logikou. Obsahuje 32 kB flash a 2 kB RAM (Random Access Memory) paměť. Deska má integrovaný LoRa vysílač, který může fungovat na frekvencích 868 MHz nebo 915 MHz. Na desce se nachází 20 univerzálních vstupních / výstupních pinů. Z těchto 20 pinů může být 7 použito pro pulzně šířkovou modulaci, 10 pro analogový vstup a dva pro sběrnici I2C. Výstupní napájecí napětí je 3,3 V. Dále je na desce 100 mA LiPoLy nabíječka s LED (Light-Emitting Diode) indikátorem nabíjení, JST zásuvka pro připojení LiPoLy baterie, červená LED dioda, resetovací tlačítko a mikro USB (Universal Serial Bus), které je použito pro napájení desky a nabíjení baterie, nahrávání programů a komunikaci s deskou. [31]

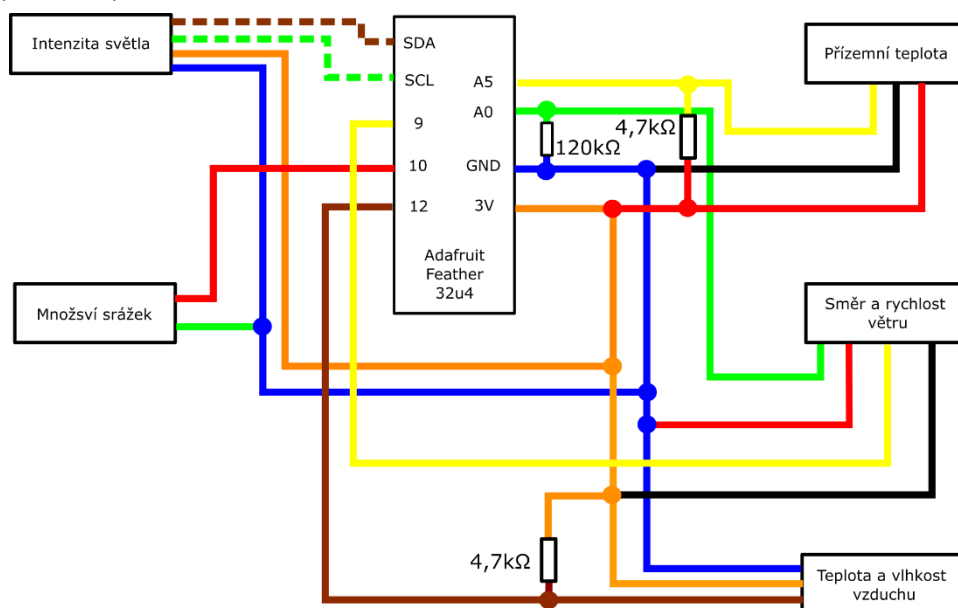


Obrázek 3.1: Adafruit Feather 32u4 RFM95 LoRa Radio

### 3.1.2 Návrh zapojení čidel k Adafruit Feather a měření napětí akumulátoru

Byl proveden návrh zapojení čidel k desce Adafruit Feather 32u4 obr. 3.2. Obrázek zobrazuje zapojení jednotlivých čidel, pro větší názornost, dle barev jejich vodičů. Barvy vodičů čidla intenzity světla byly zvoleny takto: oranžový vodič pro Vcc, modrý pro GND, zelenobílý pro SCL a hnědobílý pro SDA. Barvy vodičů čidla teploty a vlhkosti vzduchu byly zvoleny takto: oranžový vodič pro VDD, modrý pro GND a hnědý pro SDA.

Pro čidlo přizemní teploty a čidlo teploty a vlhkosti vzduchu byly navrženy "pull-up" rezistory s hodnotami 4,7 kΩ. Pro měření směru větru byl vybrán rezistor s hodnotou 120 kΩ, který s právě připojeným rezistorem v čidle směru větru tvoří nezatížený dělič napětí. Pro měření napětí akumulátoru byly na základě výpočtu zvoleny dva rezistory s hodnotami 1 kΩ a 2 kΩ, které spolu tvoří nezatížený dělič napětí.



Obrázek 3.2: Schéma zapojení jednotlivých čidel

Výpočet nezatíženého děliče pro měření napětí akumulátoru [32]:

Pro výpočet bude předpokládán proud v mezích od 1 mA do 5 mA. Dále bude předpokládán celkový odpor 3 kΩ a bude vypočten odpor rezistoru R<sub>2</sub>. Maximální vstupní napětí U<sub>vst</sub> bude zvoleno 9,9 V a maximální výstupní napětí U<sub>výst</sub> na analogovém pinu Adafruit Feather 32u4 nesmí přesáhnout 3,3 V.

$$R_1 + R_2 = 3000 \, \Omega \quad (3.1)$$

$$I = \frac{U_{vst}}{(R_1 + R_2)} = \frac{9,9}{3} = 3,3 \, mA \quad (3.2)$$

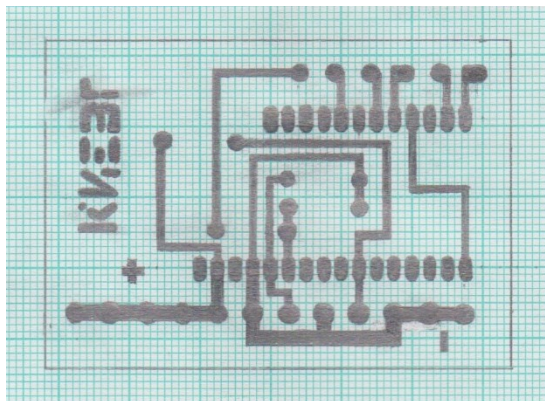
$$R_2 = \frac{U_{výst}}{I} = \frac{3,3}{3,3 \cdot 10^{-3}} = 1000 \, \Omega \quad (3.3)$$

$$U_{výst} = \frac{U_{vst} \cdot R_2}{(R_1 + R_2)} = \frac{9,9 \cdot 1000}{3000} = 3,3 \, V \quad (3.4)$$

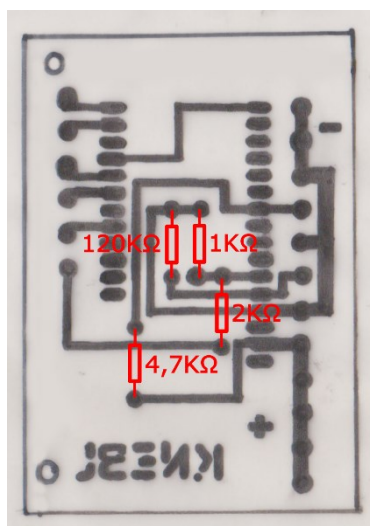
$$R_1 = (R_1 + R_2) - R_2 = 3000 - 1000 = 2000 \, \Omega \quad (3.5)$$

### 3.1.3 Návrh desky plošných spojů

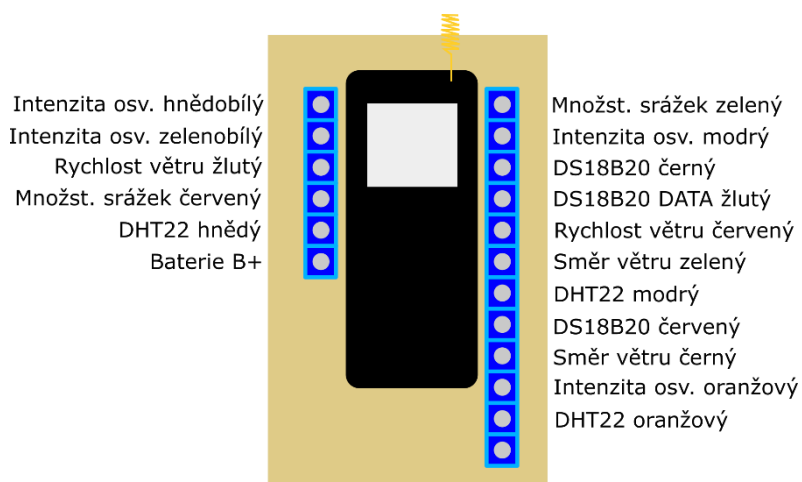
Dle schématu zapojení viz obr. 3.2 a rozměrů součástek byl na milimetrovém papíru proveden návrh desky plošných spojů viz obr. 3.3, rozmístění součástek viz obr. 3.4 a místa zapojení jednotlivých čidel do svorkovnic dle barev jejich vodičů viz obr. 3.5.



Obrázek 3.3: Návrh desky plošných spojů



Obrázek 3.4: Rozmístění součástek na desce



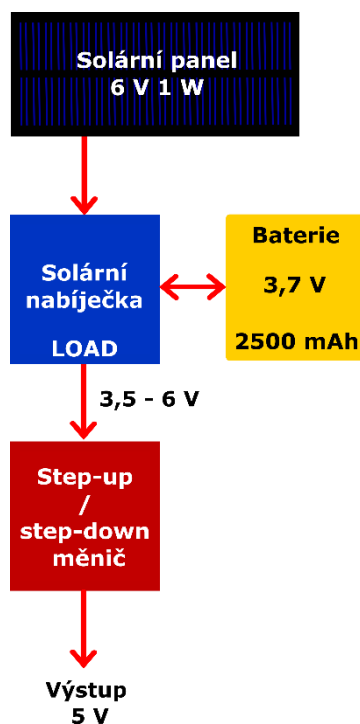
Obrázek 3.5: Návrh zapojení čidel do svorkovnic

## 3.2 Návrh solárního napájení stanice

Při navrhování solárního napájení stanice, včetně nabíjení akumulátoru, byly využity komponenty nabízené firmou Adafruit, protože mají malé rozměry a jsou vhodné pro použití ve venkovním prostředí.

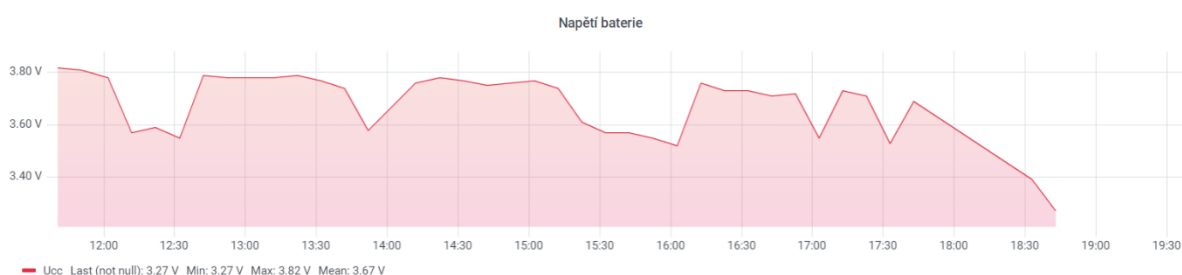
### 3.2.1 Návrh první

Při prvním návrhu bylo postupováno podle návodu k solární nabíječce Solar LiPoly Charger - v2 a na výstup "LOAD" z nabíječky byl připojen step-up/step-down měnič, na který byla přes USB připojena deska Adafruit Feather 32u4. K nabíječce byl také připojen solární panel 6 V 1 W a akumulátor 3,7 V 2500 mAh viz obr. 3.6. [33]



Obrázek 3.6: První návrh solárního napájení stanice

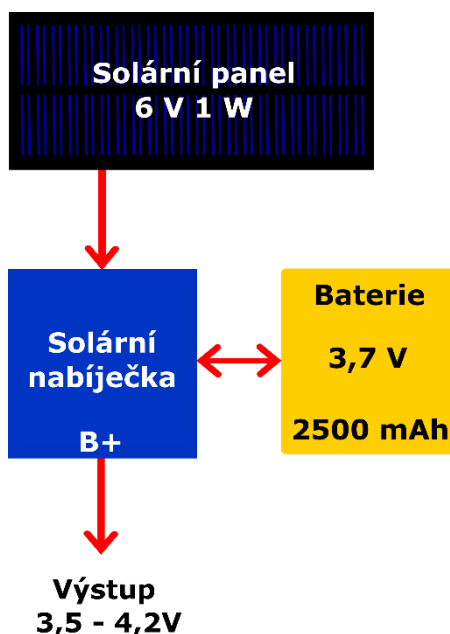
Zapojení dle tohoto návrhu bylo nevyhovující z důvodu rychlého vybíjení akumulátoru měničem viz obr. 3.7. Měnič byl v tomto zapojení použit, protože na výstupu "LOAD" z nabíječky bylo při napájení z akumulátoru napětí menší nebo rovno 4,2 V, což je pro napájení desky Adafruit Feather 32u4 přes USB nedostačující. Na druhou stranu, když na solární panel svítilo přímé slunce, tak bylo na výstupu "LOAD" napětí až 6 V, což by poškodilo desku Adafruit Feather 32u4, která pro napájení přes USB potřebuje napětí 5 V.



Obrázek 3.7: Rychlé vybíjení akumulátoru měničem

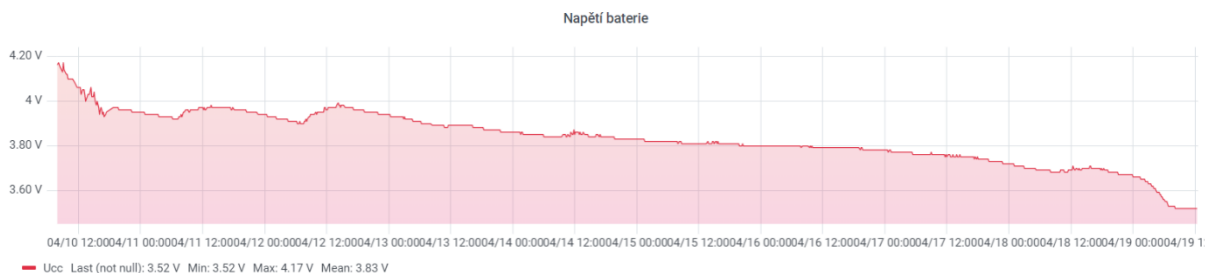
### 3.2.2 Návrh druhý

Druhý návrh spočíval v zapojení napájení stanice bez použití měniče viz obr. 3.8. Pro napájení desky nebyl použit výstup ze solární nabíječky "LOAD", ale výstup "B+" a "GND", což jsou vývody přímo z akumulátoru. Na tyto vývody byly připájeny dva vodiče opatřené JST konektorem, který byl zapojen do JST zásuvky na desce Adafruit Feather 32u4.



Obrázek 3.8: *Druhý návrh solárního napájení stanice*

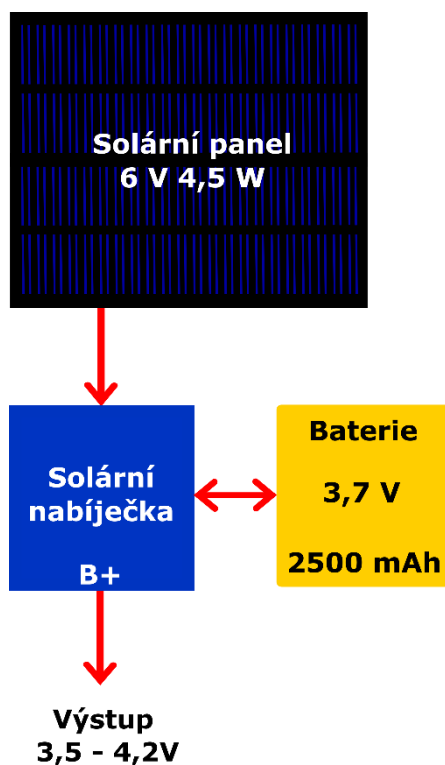
Zapojení dle tohoto návrhu bylo opět nevyhovující, protože použitý 1 W solární panel nebyl schopen při dlouhodobě zatažené obloze akumulátor dobít viz obr. 3.9. Když bylo 10 dní pouze zataženo, tak se akumulátor po těchto 10 dnech vybil a bylo ho nutno ručně nabít powerbankou. V případě menší oblačnosti a občasného přímého svitu slunce na solární panel se akumulátor dostatečně nabíjel.



Obrázek 3.9: *Postupné vybíjení akumulátoru*

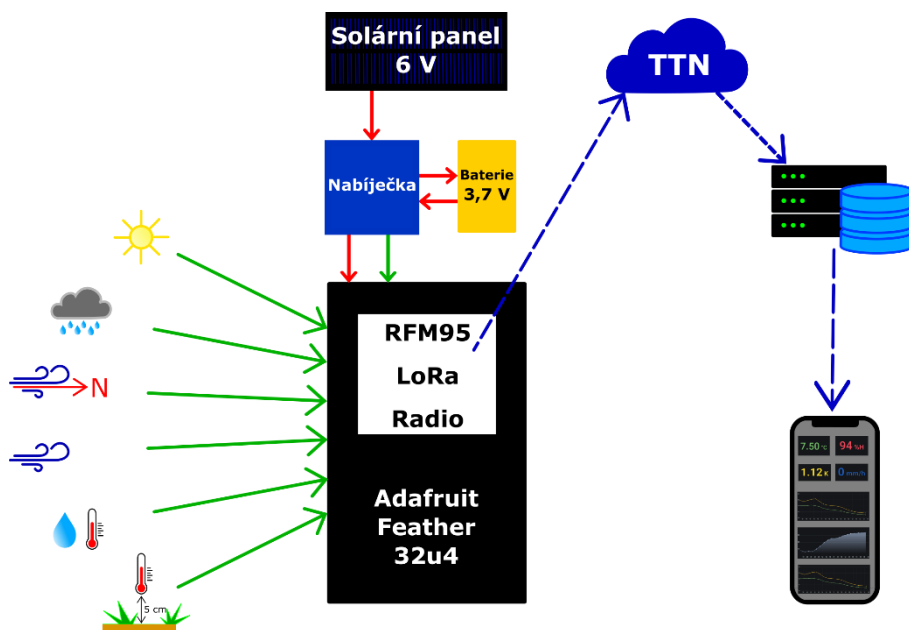
### 3.2.3 Návrh třetí

Z výše uvedených důvodů bude 1 W solární panel nahrazen 4,5 W 6 V panelem, který bude mít pro použití u této meteorologické stanice ještě stále přijatelné rozměry 165 x 165 x 3 mm viz obr. 3.10.



Obrázek 3.10: Třetí návrh solárního napájení stanice

## 3.3 Sestavení a oživení meteorologické stanice



Obrázek 3.11: Blokové schéma navržené meteorologické stanice

### 3.3.1 Přípravné práce

Nejprve byla jedna kolíková lišta rozdělena dle počtu vývodů na desce Adafruit Feather 32u4. Následně byly tyto kolíkové lišty a anténa připájeny k desce Adafruit Feather 32u4.

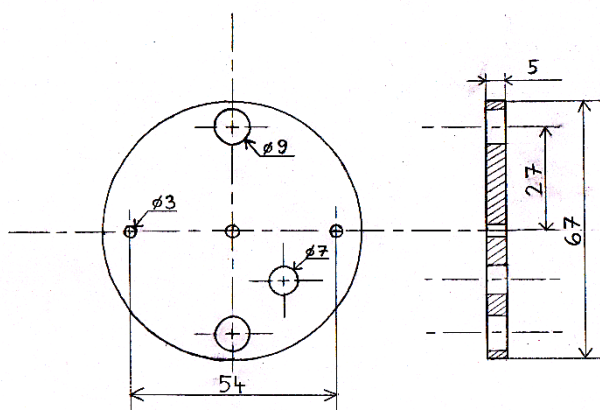
Na webových stránkách TTN (The Things Network) byl vytvořen nový účet, zaregistrována aplikace a bylo do ní přidáno nové zařízení. V Arduino IDE (Integrated Development Environment) byl nainstalován balíček pro desky od firmy Adafruit.

Dále byla nainstalována knihovna TinyLoRa a v souboru TinyLoRa.h této knihovny byl nahrazen řádek "#define US902" řádkem "#define EU863" pro zvolení kmitočtu používaného v Evropě. Z nainstalované knihovny byl použit příklad "hello\_LoRa". V tomto příkladu byl nahrazen Network Session Key, Application Session Key a Device Address hodnotami z TTN. Nakonec byl program nahrán do Adafruit Feather 32u4 a otestována funkčnost odesílání dat do sítě LoRaWAN.

### 3.3.2 Sestavení čidel

#### 3.3.2.1 Čidlo teploty a vlhkosti vzduchu

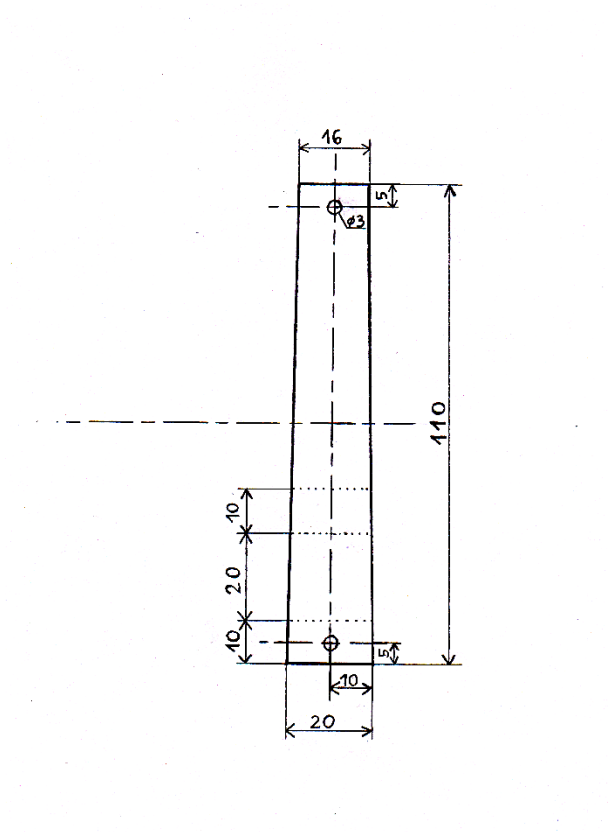
Dle nákresu viz obr. 3.12 byly vrtačkou vyvrtány otvory do plexiskla kruhového tvaru vyřezaného přímočarou pilou.



Obrázek 3.12: Nákres plexiskla

Následně byl, dle nákresu viz obr. 3.13, nůžkami na kov vystřižen držák čidla DHT22 a do něj vrtačkou vyvrtány otvory. V místech označených tečkovanou čarou byl vytvarován do tvaru na obr. 3.14. Otvor v plastovém držáku k připevnění radiačního štítu byl zvětšen a potom jím byl provléknut šroub M3 délky 25 mm s navléknutou podložkou. Na šroub byl nasazen kruh z plexiskla, podložka, hliníkový držák a podložka. Hliníkový držák byl nasměrován podle obr. 3.15 a přitažen maticí.





Obrázek 3.13: *Nákres držáku čidla*



Obrázek 3.14: *Vytvarovaný držák*



Obrázek 3.15: *Přípevnění držáku*

Mezi piny VDD a SDA čidla DHT22 byl připájen 4,7 k $\Omega$  rezistor. Z UTP kabelu délky 100 cm byly pro lepší orientaci zvoleny: oranžový vodič pro VDD, modrý pro GND a hnědý pro SDA. Vodiče byly připájeny k vývodům čidla a byly opatrně zaizolovány izolační páskou. Čidlo DHT22 bylo k hliníkovému držáku přišroubováno šroubem M3 délky 15 mm maticí. UTP kabel byl provléknut plexisklem a zajištěn stahovacími páskami viz obr. 3.16. Nakonec byl k plexisklu připevněn radiační štít pomocí dvou vrutů šířky 2,5 mm a délky 10 mm.



Obrázek 3.16: *Sestavené čidlo bez radiačního štítu*

### 3.3.2.2 Čidlo přízemní teploty

Kulatina o průměru 6 mm a délce 450 mm byla ohnuta do pravého úhlu tak, aby jedna část byla dlouhá 150 mm a druhá 300 mm. Kulatina byla na konci delší strany zabroušena bruskou do špičky pro snadnější zapíchnutí do země. Na kulatinu byla ve vzdálenosti 5 cm od kratší strany nalepena izolační páska tak, aby spodní hrana pásky končila přesně v 5 cm. Zahradní hadicí o průměru 15 mm a délce 70 mm bylo provlečeno vodotěsné čidlo teploty DS18B20 a následně do ní byla nasunuta kulatina viz obr. 3.17.



Obrázek 3.17: Sestavené čidlo přízemní teploty

### 3.3.2.3 Čidlo intenzity světla

Do víčka od lékovky byl vytvořen otvor pro UTP kabel. UTP kabel délky 100 cm byl provléknut víčkem. Deska čidla BH1750 byla opatřena vývody, kvůli kterým se nedala vložit do lékovky, a proto bylo nutno tyto vývody ohnout. Z UTP kabelu byl pro lepší orientaci zvolen oranžový vodič pro Vcc, modrý pro GND, zelenobílý pro SCL a hnědobílý pro SDA. Vodiče byly připájeny k vývodům čidla a krátkým modrým vodičem byly připojeny propojeny vývody GND a ADDR. Víčko bylo posunuto do požadované vzdálenosti a zalepeno tavnou lepicí pistolí. Nakonec bylo čidlo vloženo do lékovky viz obr. 3.18.



Obrázek 3.18: Sestavené čidlo intenzity světla

### 3.3.3 Test čidel a vytvořeného programu

Z čidel ukazatele směru větru a množství srážek byly odstraněny koncovky RJ11. Následně byla všechna čidla připojena v nepájivém poli k desce Adafruit Feather 32u4 podle schématu viz obr. 3.2.

Knihovny TinyLoRa, CayenneLPP, TroykaDHT, OneWire, DS18B20\_RT a OneTime-BH1750 byly nainstalovány v Arduino IDE. Některé z těchto knihoven jsou alternativní a byly použity z důvodu menší velikosti. Dále byl v Arduino IDE vytvořen program pro měření hodnot a jejich odesílání do sítě LoRaWAN. Program byl pomocí USB nahrán do Adafruit Feather 32u4. Měření množství srážek bylo vyzkoušeno ručním překlápěním člunku a rychlost a směr větru ručním otáčením anemometru a

ukazatele směru větru. V konzoli v aplikaci v záložce Payload Formats byl zvolen Cayenne LPP. V záložce Data byly ověřovány naměřené hodnoty z připojených čidel.

### 3.3.4 Popis vytvořeného programu

Ve funkci setup() se provede inicializace LoRa, zahájení komunikace s čidly a inicializace digitálních pinů jako vstupů s povolenými interními "pull-up" rezistory.

Ve smyčce loop() se nachází funkce measure(). V této funkci se provádí časování jednotlivých měření a odesílání dat.

```
void measure(){

    measureRain();
    measureWindSpeed();

    unsigned long currentMillis = millis();          // current millis

    if(currentMillis - previousMillis >= interval) { // timer set to 1 second
        previousMillis = currentMillis;

        countWindSpeed();

        if(countSeconds % 10 == 0){                  // every 10 seconds
            measureWindDirection();
            measureTempsAndHumi();
        }

        if(countSeconds % 60 == 0){                  // every 1 minute
            measureLuminosity();
        }

        if(countSeconds % 600 == 0){                 // every 10 minutes
            findWindDirection();
            measureBattery();
            do_send();                                // send measured data
            countSeconds = 0;                          // zero seconds counter
        }
        countSeconds++;                               // + 1 second
    }
}
```

Ve funkci measureRain() se měří množství srážek a ve funkci measureWindSpeed() jsou počítány impulsy čidla rychlosti větru. Množství srážek a počty impulsů čidla rychlosti větru jsou měřeny neustále. U čidla množství srážek se při zjištění impulsu přičte k naměřeným srážkám hodnota 0,3 (0,3 mm).

U čidla rychlosti větru se ve funkci `countWindSpeed()` zjištěné impulsy každou sekundu přepočítávají na rychlost větru v m/s a přičítají se k předchozím vypočteným hodnotám rychlosti větru. Zároveň se zde zjišťuje maximální rychlost větru.

Každých 10 sekund se ve funkci `measureWindDirection()` určuje směr větru podle hodnot naměřených na analogovém vstupu viz tab. 3.1 a po zjištění směru se k příslušnému prvku v poli směrů větru přičte hodnota 1 (v poli směrů větru má sever index 0, severovýchod index 1 atd. ve směru hodinových ručiček).

Dále se ve funkci `measureTempsAndHumi()` každých 10 sekund měří hodnoty přízemní teploty a teploty a vlhkosti vzduchu, které se přičítají k předchozím naměřeným hodnotám. U čidla DHT22 se také počítá počet správně naměřených hodnot, protože čidla DHT22 někdy špatně změří hodnoty teploty a vlhkosti.

Hodnoty intenzity světla se ve funkci `measureLuminosity()` měří každou minutu a přičítají se k předchozím naměřeným hodnotám intenzity světla.

Každých 10 minut se ve funkci `findWindDirection()` v poli naměřených směrů větru vyhledá nejvyšší hodnota a index této hodnoty se použije ve druhém poli stupňů směrů větru pro přiřazení stupňů nalezenému směru větru.

Dále se ve funkci `measureBattery()` každých 10 minut měří napětí baterie.

Hodnoty naměřených teplot, vlhkosti, intenzity světla a rychlosti větru se ve funkci `do_send()` před odesláním zprůměrují počtem naměřených vzorků a poté se v této funkci provede odeslání všech dat.

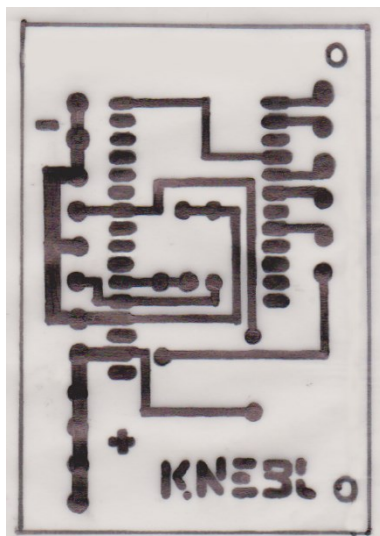
Tabulka 3.1: *Rozsahy hodnot pro zjištění směru větru*

Světová strana	Hodnoty (Analog Input) při 25 °C	Zvolený rozsah	Hodnoty (Analog Input) při -20 °C
Sever	812 – 815	809 – 818	812 – 815
Severovýchod	961 – 963	958 – 966	962 – 963
Východ	1015 – 1016	1012 – 1019	1016
Jihovýchod	1006 – 1007	1003 – 1010	1006 – 1007
Jih	993 – 994	990 – 997	993 – 994
Jihozápad	908 – 911	905 – 914	909 – 911
Západ	526 – 530	523 – 533	527 – 531
Severozápad	678 - 681	675 - 684	678 - 681

Jednotlivé rozsahy hodnot v tab. 3.1 pro zjištění určitých směrů větru byly zvoleny tak, že rozsah experimentálně naměřených hodnot na analogovém vstupu (při pokojové teplotě) byl rozšířen o tři hodnoty na každou stranu. Správnost zvolených rozsahů při nižších venkovních teplotách byla následně ověřena simulací těchto podmínek. Čidlo směru větru bylo vloženo do mrazničky na 24 hodin a poté byly změřeny hodnoty na analogovém vstupu při jednotlivých směrech větru. Takto zjištěné hodnoty stále spadaly do zvolených rozsahů.

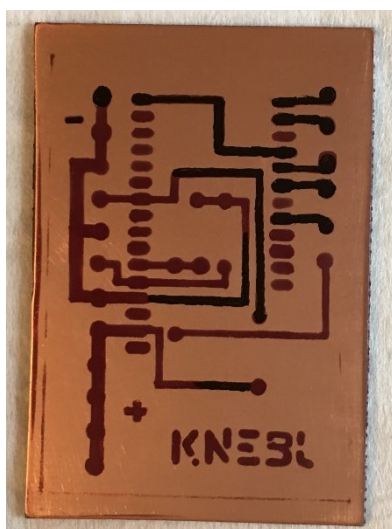
### 3.3.5 Výroba a osazení desky plošných spojů

Obrazec desky plošných spojů navržený na milimetrovém papíru byl černým lihovým fixem překreslen na pauzovací papír (rozměry černého rámečku - 48 x 70 mm) a pro lepší kontrast byl zvýrazněn i z druhé strany pauzovacího papíru viz obr. 3.19.



Obrázek 3.19: *Pauzovací papír s obrazcem*

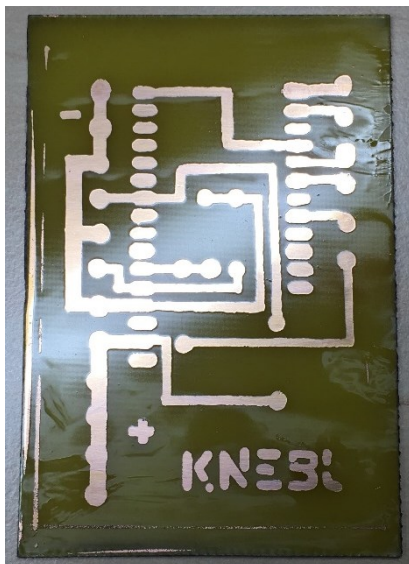
Následně byla pod vodou lehce obroušena smirkovým papírem měděná strana cuprexitu o rozměrech 50 x 70 mm. Dále byla měď odmaštěna Jarem a očištěna netkanou textilií namočenou v lihu. Poté deska schla pod miskou, aby se na ni neprášilo. Na desku byla nanесena fotocitlivá vrstva Positiv Resist, která se nechala rovnoměrně roztéct tak, aby byla výsledná vrstva spojitá. Pak byla deska vložena do trouby předehřáté na 70 °C na 15 - 20 minut. Po vytažení z trouby a vychladnutí byl na desku izolační páskou nalepen pauzovací papír s obrazcem. Deska byla umístěna mezi dvě skla ve vzdálenosti 30 cm od horského slunce a byla osvětlována po dobu 18 minut. Poté byl pauzovací papír z desky odstraněn a deska byla následně vložena fotocitlivou vrstvou nahoru do skleněné nádoby s připravenou vývojkou. Po vyvolání obrazce byla deska vytažena z vývojky a ihned po opláchnutí pod tekoucí vodou se nechala volně uschnout. Nedokonalosti byly po důkladné kontrole opraveny lihovým fixem viz obr. 3.20.



Obrázek 3.20: *Opravený vyvolaný obrazec*



Pak byla deska položena obrazcem dolů na hladinu leptacího roztoku ve skleněné nádobě. Deska byla ponechána na hladině tak dlouho, dokud nebyla všechna měď, kromě obrazce, vyleptána. Po vyleptání mědi byla deska opláchnuta pod tekoucí vodou a zbytky fotoemulze z ní byly odstraněny ředidlem. Potom byla deska osušena netkanou textilií. Ihned po usušení byla deska zalakována pájitelným lakem, který se nechal důkladně zaschnout viz obr. 3.21.



Obrázek 3.21: Zalakovaná deska

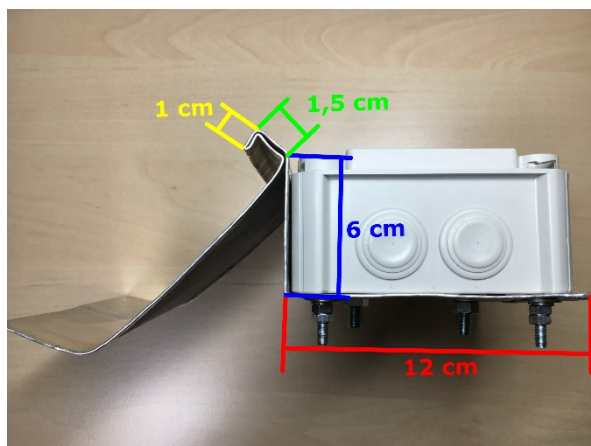
Místa, ve kterých se měly vrtat otvory, byla zaznačena důlčíkem. Do desky byly vyvrtány otvory pro její upevnění a pro součástky. Otvory byly z vrchní strany desky začištěny větším vrtákem. Neprecizní patice DIP 28 PIN 15,24 mm s roztečí 2,54 mm pro připojení desky Adafruit Feather 32u4 byla opatrně rozdělena odlamovacím nožem rozžhaveným nad zapalovačem. Na desku byly dle návrhu obr. 3.4 připájeny součástky viz obr. 3.22. Deska byla opět zalakována pájitelným lakem a do patice byla zasunuta deska Adafruit Feather 32u4.



Obrázek 3.22: Připájené součástky

### 3.3.6 Sestavení odbočné krabice

Hliníkový plech o rozměrech 380 x 150 mm byl vytvarován dle obr. 3.23. Uprostřed hliníkového plechu byly vyvrtány dva otvory pro šrouby M8. Pro uchycení krabice byly do plechu vyvrtány čtyři otvory pro šrouby M5. K upevnění klipu ze složky ve výšce podle velikosti solárního panelu byly ve vrchní části plechu vyvrtány dva otvory pro šrouby M4. Na plech byly přišroubovány šrouby M8. Dále byla k plechu pomocí šroubů M5 připevněna odbočná krabice a pomocí dvou šroubů M4 klip ze složky. Jeden z otvorů v krabici byl zalepen a do krabice byly zašroubovány dvě kabelové vývodky viz obr. 3.24. Plech byl po obvodu opatřen gumou a na šrouby M8 byly přišroubovány dvě svorky s gumou.



Obrázek 3.23: Rozměry hliníkového plechu



Obrázek 3.24: Sestavená odbočná krabice

### 3.3.7 Sestavení meteorologické stanice

Do trubky s výřezem a dvěma otvory byl zasunut vrchní plastový díl, který byl následně přišroubován k trubce vrutem a šroubem s maticí. Na plastový díl byly pomocí šroubů s maticemi připevněny ukazatel směru větru a čidlo rychlosti větru tak, že když byl výřez v trubce nahoře, tak ukazatel směru větru byl na levé straně a čidlo rychlosti větru na straně pravé. Vodiče čidel byly vloženy do úchytek na vrchním plastovém dílu a čidlo rychlosti větru bylo zapojeno do zásuvky na spodní straně ukazatele směru větru. UTP kabel čidla intenzity světla byl vytvarován, a i s čidlem intenzity světla upevněn k vrchnímu plastovému dílu stahovacími páskami viz obr. 3.25.





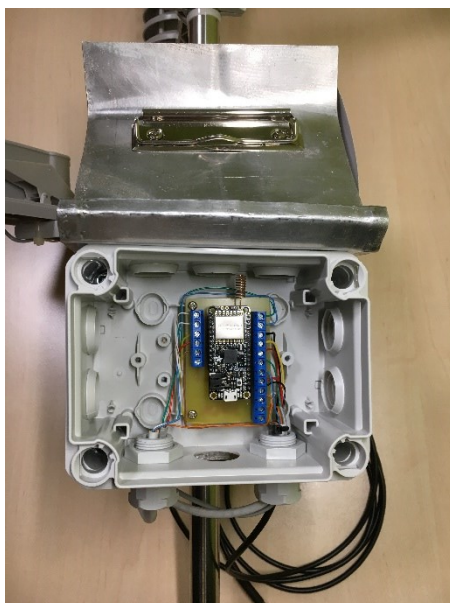
Obrázek 3.25: Vrchní plastový díl s čidly

Čidlo teploty a vlhkosti vzduchu bylo k trubce přichyceno tak, aby podle ukazatele směru větru směřovalo na sever a vrchní část radiačního štítu byla ve stejné výšce jako vrchní část vrchního plastového dílu. Do trubky byla zasunuta druhá trubka. Čidlo množství srážek bylo připevněno k plastovému držáku pomocí vrutu. Vodič čidla množství srážek byl k plastovému držáku uchycen dvěma stahovacími páskami. Plastový držák čidla množství srážek byl připevněn k trubce v místě spoje dvou trubek takovým směrem, aby čidlo bylo přesně mezi radiačním štítem a čidlem rychlosti větru. Dále byly všechny kabely přichyceny k trubce stahovacími páskami až pod čidlo množství srážek viz obr. 3.26.



Obrázek 3.26: Stanice s dalšími čidly

Krabice byla přidělána svorkami s gumou k trubce tak, aby přední strana krabice směřovala na jih. Přebytek kabelů od čidel byl smotán za krabici. Do krabice byla dvěma vruty o průměru 3 mm a délce 7 mm přišroubována osazená deska plošných spojů. Vývodkou na levé straně krabice byly provléknuty kabely od čidel intenzity světla a množství srážek. Vývodkou na pravé straně krabice byly protáhnuty kabely čidel přízemní teploty, teploty a vlhkosti vzduchu a rychlosti a směru větru. Vodiče v kabelech byly odizolovány, zkráceny na potřebné délky a lanka pocínována. Dále byly všechny vodiče přišroubovány do svorkovnic dle návrhu na obr. 3.5 a viz obr. 3.27.



Obrázek 3.27: Částečně sestavená odbočná krabice

### 3.4 Postup realizace solárního napájení stanice

#### 3.4.1 Sestavení solárního panelu

Dvojlinka délky 60 cm byla připájena k původnímu 1 W 6 V solárnímu panelu o rozměrech 110 x 60 mm. Do jednoho ze dvou mirelonů o rozměrech 125 x 80 mm a tloušťce 5 mm byl vyříznut otvor o rozměrech 110 x 60 mm. Solární panel byl sestaven v následujícím pořadí: sklo o rozměrech 125 x 80 mm a tloušťce 2 mm, mirelon s vyříznutým otvorem, solární panel, druhý mirelon a druhé sklo. Vše bylo staženo dvěma kancelářskými kovovými klipy a všechny čtyři boky tohoto výrobku byly zalepeny silikonem proti vniknutí vody viz obr. 3.28.

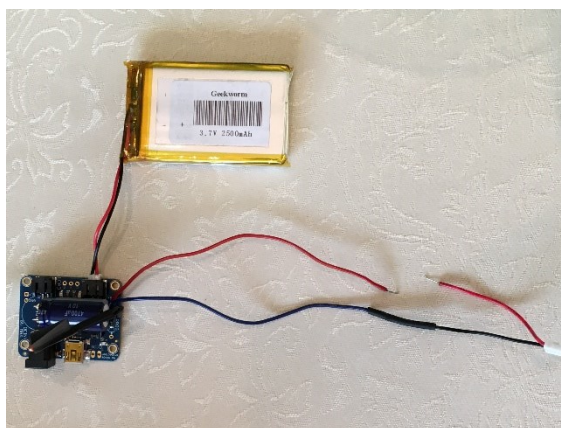


Obrázek 3.28: Sestavený solární panel

Tento sestavený solární panel byl nahrazen 4,5 W 6 V solárním panelem (viz výše - třetí návrh solárního napájení stanice).

### 3.4.2 Sestavení solární nabíječky

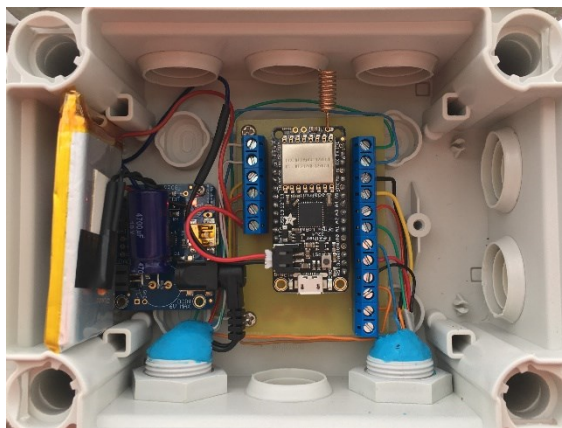
Dva vodiče délky 50 mm byly připájeny k 10 k $\Omega$  NTC termistoru a přívody termistoru byly zaizolovány teplem smrštitelnou bužírkou. Z desky solární nabíječky Solar LiPoly Charger - v2 v místě označeném "THERM" byl odpájen 10 k $\Omega$  rezistor a do tohoto místa byly připájeny vodiče výše uvedeného termistoru. Přívody elektrolytického kondenzátoru byly ohnuty a správnou polaritou připájeny k desce solární nabíječky. Poté byl do místa na solární nabíječce označené "B+" připájen vodič s červenou bužírkou délky 10 - 15 cm a do místa označeného "GND" vodič s černou bužírkou, také délky 10 - 15 cm. K těmto vodičům byly připájeny vodiče s JST konektorem a černý vodič byl v místě spoje zaizolován teplem smrštitelnou bužírkou. Následně byl do místa označeného "BATT" připojen akumulátor viz obr. 3.29, který byl poté nabit přes USB touto sestavenou solární nabíječkou.



Obrázek 3.29: Sestavená solární nabíječka s akumulátorem

### 3.4.3 Dokončení sestavení solárního napájení stanice

Baterie připojená k solární nabíječce byla vložena na levou stranu odbočné krabice. Červený vodič z nabíječky a červený vodič s JST konektorem byl přišroubován do svorkovnice v místě "Baterie B+" viz návrh obr. 3.5. Solární nabíječka byla ke krabici připevněna vrutem o průměru 2,5 mm a délce 10 mm a termistor byl k baterii přilepen kusem izolační pásky. Nad krabicí byl připevněn solární panel do připraveného klipu a kabel solárního panelu byl provléknut levou kabelovou vývodkou. Na konec kabelu byl připájen správnou polaritou napájecí konektor 90°. Následně byl konektor připojen do solární nabíječky. Dále byly zašroubovány kabelové vývodky, které byly následně uvnitř krabice zalepeny plastelínou proti vniknutí vlhkosti viz obr. 3.30.



Obrázek 3.30: Kompletně sestavená odbočná krabice



### 3.5 Umístění a montáž meteorologické stanice do venkovního prostředí

Trubka se stanicí byla částečně nasunuta do trubky délky 90 cm. Do trubky délky 150 cm byly vyvrtány tři otvory pro šrouby M8 ve vzdálenosti 5 cm od konce trubky tak, že při pohledu shora otvory představovaly vrcholy rovnostranného trojúhelníku. A dále tři otvory ve vzdálenosti 35 cm od konce trubky také tak, že při pohledu shora představovaly vrcholy rovnostranného trojúhelníku. Na otvory byly z vnější strany trubky svářečkou navařeny matice M8, do kterých byly následně částečně našroubovány šrouby M8. Pro umístění stanice bylo vybráno volné prostranství s dobrým příjmem signálu sítě LoRaWAN. Trubka byla zatlučena do země do hloubky asi 40 cm a do této trubky byla vložena trubka se stanicí. Meteostanice byla podle kompasu nasměrována tak, aby sever ukazatele směru větru mířil na sever. Dále byla meteorologická stanice umístěna do takové výšky, aby bylo čidlo teploty a vlhkosti vzduchu v radiačním štítu přesně ve dvou metrech nad zemí. Následně byla stanice pomocí vodováhy a šesti šroubů na trubce zatlučené v zemi vyrovnána do roviny a upevněna viz obr. 3.31. Poté bylo čidlo přízemní teploty zapíchnuto do země podle izolační pásky na kulatině. JST konektor od nabíječky byl zapojen do zásuvky Adafruit Feather 32u4 a tím bylo zahájeno měření a odesílání naměřených dat. Poté byla odbočná krabice uzavřena. Správná funkce sestavené meteorologické stanice byla následně ověřena přijímanými daty na webu TTN.

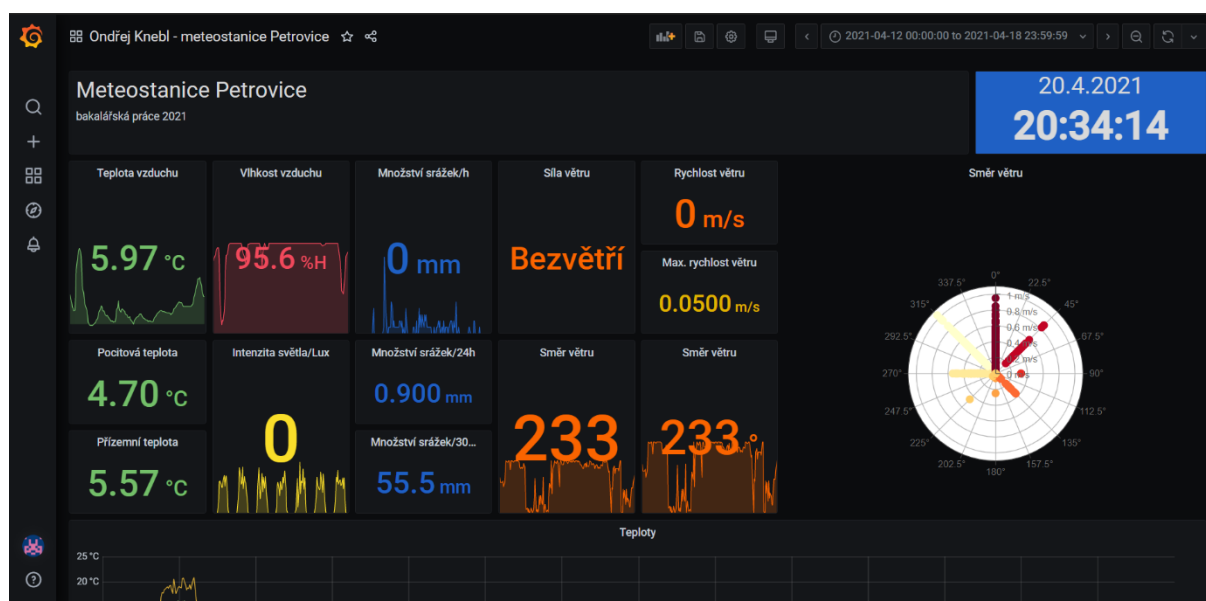


Obrázek 3.31: *Plně funkční meteostanice*

### 3.6 Vizualizace naměřených dat v aplikaci Grafana

Pro vizualizaci naměřených dat je použit Grafana server, jehož běh zajišťuje Katedra telekomunikační techniky na VŠB-TUO.

Pomocí balíčku Telegraf lze na linuxovém serveru číst data, která jsou k dispozici v síti TTN. Telegraf je MQTT klient, který je propojený s databází časových řad InfluxDB, do které jsou ukládána přečtená data (naměřené hodnoty z čidel). Databáze může být nainstalována na stejném stroji. Vizualizaci naměřených dat ve formě ukazatelů a grafů zajišťuje aplikace Grafana viz obr. 3.32 a obr. 3.33, která čte data z databáze InfluxDB. Dále je v Grafaně možné provádět s daty z databáze různé výpočty, jako například výpočet pocitové teploty (Australian Apparent Temperature), která se počítá z teploty a vlhkosti vzduchu a rychlosti větru.



Obrázek 3.32: Vizualizace dat v Grafaně



Obrázek 3.33: Vizualizace dat v Grafaně

### 3.7 Kalkulace nákladů

Po kompletním sestavení meteorologické stanice byla provedena kalkulace nákladů. Celková cena stanice po sečtení všech nákladů na materiál činila 3866 Kč viz tab. příloha A.

Nejdražšími komponenty této stanice byly Adafruit Feather 32u4 RFM95 LoRa Radio a vnější mechanické díly k meteostanici WH1080 (WH1090).

V porovnání s běžně dostupnými profesionálními meteorologickými stanicemi, které měří stejné parametry počasí a umožňují odesílání naměřených dat přes Wi-Fi, vychází sestavená meteorologická stanice přibližně o 200 až 500 Kč levněji.

## 4 Ověření funkčnosti meteorologické stanice

Správnost některých dat naměřených meteorologickou stanicí byla ověřena lihovým teploměrem, klasickým vlhkoměrem a pozorováním.

Hodnoty teploty a vlhkosti vzduchu naměřené stanicí byly průběžně porovnávány s hodnotami teploty a vlhkosti vzduchu zjištěnými klasickým lihovým teploměrem a vlhkoměrem viz obr. 4.1 a obr. 4.2.



Obrázek 4.1: *Ověřování naměřených hodnot*



Obrázek 4.2: *Ověřování naměřených hodnot*

## 5 Závěr

Cílem této práce bylo sestavení a oživení jednoduché meteorologické stanice osazené základními čidly komunikujícími přes síť LoRaWAN.

V první kapitole je stručný popis technologie LoRa a sítě LoRaWAN. Druhá kapitola pojednává o meteorologii a popisuje funkce vybraných čidel pro měření počasí. Ve třetí kapitole je návrh, praktická realizace a zprovoznění stanice a jejího solárního napájení včetně nabíjení akumulátoru. Je zde uveden postup sestavení jednotlivých čidel, popis vytvořeného programu a jeho testování a také výroba a osazení desky plošných spojů. Poslední kapitola se zabývá ověřením funkčnosti sestavené meteorologické stanice a porovnáním naměřených hodnot počasí s hodnotami naměřenými klasickými měřicími přístroji.

Sestavování stanice a vytvoření jejího programu probíhalo bez problémů. Problém však nastal až při samotném uvedení do provozu při zapojení solárního napájení s měničem, kdy došlo k rychlému vybití akumulátoru během pár hodin. Tento stav byl vyřešen připojením solárního napájení bez měniče. Toto řešení bylo při dobrých světelných podmínkách uspokojivé, ale v případě dlouhodobě nepříznivého počasí se akumulátor nestačil průběžně dobíjet, a proto se po deseti dnech zcela vybil. Znamenalo to, že bylo třeba k nabíječce připojit výkonnější solární panel, který dokázal dostatečně dobíjet akumulátor, aby nedošlo k jeho vybití, a tím i k vypnutí meteostanice.

Realizovaná meteorologická stanice je plně funkční a mezi její přednosti patří připojení prostřednictvím sítě LoRaWAN, solární napájení a možná následná vizualizace naměřených dat například v aplikaci Grafana. Výhodou této meteostanice je také to, že ji lze sestavit v domácích podmínkách z lehce dostupných součástek na trhu. Stanici je možno rozšířit o další čidla měření, např. ke zjištění teploty půdy a atmosférického tlaku, a tím získat ještě detailnější informace o počasí.

Celý postup sestavení a realizace stanice je detailně zdokumentován formou návodu a publikován na webu <https://lora.vsb.cz> [34], čímž byly všechny body zadání této bakalářské práce splněny.

Samotná stavba a zprovoznění meteorologické stanice pro mě byly nejen velmi zajímavé a přínosné, ale také zábavné. Určitě jsem zlepšil svou zručnost a rozšířil své technické znalosti.



## Použitá literatura

- [1] LPWAN sítě. MACHNÍK, Petr a Libor MICHALEK. Základy telekomunikačních sítí pro integrovanou výuku VUT a VŠB-TUO [online]. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2019, s. 63 [cit. 2020-12-05]. ISBN 978-80-248-3626-3. Dostupné z: [https://lms.vsb.cz/pluginfile.php/1036913/mod\\_resource/content/5/ts-2cast\\_v20190301.pdf](https://lms.vsb.cz/pluginfile.php/1036913/mod_resource/content/5/ts-2cast_v20190301.pdf)
- [2] LPWAN. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-, 3. 12. 2020 [cit. 2020-12-05]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/LPWAN>
- [3] HÜBNER, Pavel. LPWAN - technologie, které mění IoT. Hardwario [online]. 2020, 9. červen 2020 [cit. 2020-12-05]. Dostupné z: <https://www.hardwario.com/cs/blog/2020-06-09-lpwan/>
- [4] MICHALEK, Libor. Pilotní projekt využití infrastruktury sdružení CESNET pro síť Internetu věcí (IoT). In: Lora.vsb.cz: Presentation about LoRa@VSB at CESNET Conference [only in Czech] [online]. 2019, 30. 1. 2019 [cit. 2020-12-05]. Dostupné z: <https://lora.vsb.cz/>
- [5] PECH, Jiří. IOT TECHNOLOGIE: LORA A LORAWAN (3/5). Eman [online]. 2019, 19. 2. 2019 [cit. 2020-12-05]. Dostupné z: <https://www.eman.cz/blog/iot-technologie-lora-a-lorawan-3-5/>
- [6] What is LoRa?: What is LoRa? Semtech [online]. 2020 [cit. 2020-12-05]. Dostupné z: <https://www.semtech.com/lora/what-is-lora>
- [7] Figure 3: LoRaWAN OSI reference. In: ResearchGate [online]. 2019, 2019 [cit. 2020-12-07]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/figure/LoRaWAN-OSI-reference\\_fig2\\_336619369](https://www.researchgate.net/figure/LoRaWAN-OSI-reference_fig2_336619369)
- [8] ABOUT LoRa. Lora.vsb.cz [online]. [cit. 2020-12-05]. Dostupné z: <https://lora.vsb.cz/index.php/about-lora/>
- [9] RAM, Prashant. LPWAN, LoRa, LoRaWAN and the Internet of Things: LoRa and LoRaWAN Network Topology. In: Medium.com: Coinmonks [online]. 2018, 7. 8. 2018 [cit. 2020-12-07]. Dostupné z: <https://medium.com/coinmonks/lpwan-lora-lorawan-and-the-internet-of-things-aed7d5975d5d>
- [10] KUFA, Michal. Jednotka pro měření a přenos environmentálních dat s využitím LPWAN [online]. Ostrava, 2019 [cit. 2020-12-05]. Dostupné z: [https://dspace.vsb.cz/bitstream/handle/10084/136326/KUF0035\\_FEI\\_N2649\\_2612T003\\_2019.pdf?sequence=1](https://dspace.vsb.cz/bitstream/handle/10084/136326/KUF0035_FEI_N2649_2612T003_2019.pdf?sequence=1). Diplomová práce. VŠB - Technická univerzita Ostrava. Vedoucí práce Ing. Karel Witas, Ph.D.
- [11] LoRaWAN: Specifikace. IoT portál: Brána do internetu věcí [online]. 2016, 29.2.2016 [cit. 2020-12-07]. Dostupné z: <https://www.iot-portal.cz/2016/02/29/lorawan/>
- [12] Meteorologie a její historie: Historie meteorologie. Meteocentrum.cz [online]. [cit. 2020-12-05]. Dostupné z: <https://www.meteocentrum.cz/encyklopedie/meteorologie-a-jeji-historie>
- [13] Historie meteorologie. Meteo Aktuality [online]. 2018, 1.7.2018 [cit. 2020-12-05]. Dostupné z: <https://pocasimeteoaktuality.wordpress.com/meteorologie/historie-meteorologie/>
- [14] Meteorologie. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-, 31. 5. 2020 [cit. 2020-12-05]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Meteorologie>

- [15] SMOLKA, Václav. Meteorologické stanice - dělení a význam: Dělení meteorologických stanic. IN-POČASÍ [online]. 2013, 28.08.2013 [cit. 2020-12-05]. Dostupné z: <https://www.in-pocasi.cz/clanky/teorie/meteorologicke-stanice-rozdeleni/>
- [16] Meteorologické stanice. Meteorologická stanice Maruška Hostýnské vrchy [online]. [cit. 2020-12-05]. Dostupné z: [http://maruska.ordoz.com/meteorologie/meteorologicke\\_stanice](http://maruska.ordoz.com/meteorologie/meteorologicke_stanice)
- [17] LIPINA, Pavel. Meteorologie: Meteorologie aneb jak měříme počasí. In: Brána do vesmíru [online]. [cit. 2020-12-07]. Dostupné z: <https://www.branadovesmiru.eu/odborne-clanky/meteorologie.html>
- [18] Teplota vlhkého teploměru. Cs.qaz.wiki [online]. [cit. 2020-12-05]. Dostupné z: [https://cs.qaz.wiki/wiki/Wet-bulb\\_temperature](https://cs.qaz.wiki/wiki/Wet-bulb_temperature)
- [19] Metodika měření: Teplota vzduchu. Meteorologická stanice Vikýřovice [online]. 2020, 1. 11. 2020 [cit. 2020-12-05]. Dostupné z: <https://meteovikyrovice.wbs.cz/METODIKA-MERENI.html>
- [20] Vlhkoměr. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-, 18. 7. 2020 [cit. 2020-12-05]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Vlhkom%C4%9Br>
- [21] Srážkoměr. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-, 4. 10. 2017 [cit. 2020-12-05]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Sr%C3%A1%C5%BEk%C4%9Br>
- [22] DS18B20 Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer [online]. [cit. 2020-12-05]. Dostupné z: <https://www.gme.cz/data/attachments/dsh.530-067.1.pdf>
- [23] JAK NA VODOTĚSNÉ TEPLITNÍ ČIDLO DS18B20? HW Kitchen [online]. [cit. 2020-12-05]. Dostupné z: <https://www.hwkitchen.cz/navody-hwkitchen/jak-na-vodotesne-teplotni-cidlo-ds18b20-arduino-navody/>
- [24] M., Luboš. Teplotní senzor DS18B20. Arduino návody [online]. 2016, 28. 6. 2016 [cit. 2020-12-05]. Dostupné z: <https://navody.arduino-shop.cz/navody-k-produktum/teplotni-senzor-ds18b20.html>
- [25] Temperature and humidity module: AM2302 Product Manual [online]. Aosong(Guangzhou) Electronics Co.,Ltd. [cit. 2020-12-05]. Dostupné z: <https://drive.google.com/file/d/0B4B30jzMyzG8czNPdXl3MVNrYkk/view>
- [26] Anemometr k meteostanicím WH1080 a WH1090. Hadex: Tradice i budoucnost [online]. [cit. 2020-12-06]. Dostupné z: <https://www.hadex.cz/t114-anemometr-k-meteostanicim-wh1080-a-wh1090/>
- [27] Poloprofesionální meteostanice WH 1080: TECHNICKÉ ÚDAJE. METEOshop.cz [online]. [cit. 2020-12-06]. Dostupné z: <https://www.meteoshop.cz/produkt/poloprofessionalni-meteostanice-wh-1080/1899/>
- [28] Digital 16bit Serial Output Type Ambient Light Sensor IC: BH1750FVI [online]. 2010. [cit. 2020-12-06]. Dostupné z: <http://www.elehouse.com/elehouse/images/product/Digital%20light%20Sensor/bh1750fvi-e.pdf>
- [29] Modul měření intenzity světla: SPECIFIKACE [online]. Verze 1.0. ECLIPSE, 2017 [cit. 2020-12-06]. Dostupné z: <https://arduino-shop.cz/docs/produkty/0/465/1420672425.pdf>
- [30] BH1750 – Specifications and Applications: What is BH1750? ELPROCUS [online]. [cit. 2020-12-06]. Dostupné z: <https://www.elprocus.com/bh1750-specifications-and-applications/>

- [31] Adafruit Feather 32u4 RFM95 LoRa Radio- 868 or 915 MHz - RadioFruit. Adafruit [online]. [cit. 2021-4-25]. Dostupné z: <https://www.adafruit.com/product/3078>
- [32] DC Voltage Measurement using Arduino: DC Voltage Measurement. Circuits4you.com [online]. 2016, 13. 5. 2016 [cit. 2021-4-25]. Dostupné z: <https://circuits4you.com/2016/05/13/arduino-voltage-measurement/>
- [33] USB, DC & Solar Lipoly Charger. Adafruit [online]. 2012, 29. 7. 2012 [cit. 2021-4-25]. Dostupné z: <https://learn.adafruit.com/usb-dc-and-solar-lipoly-charger/using-the-charger?view=all#downloads>
- [34] LoRa@VSB [online]. [cit. 2021-4-27]. Dostupné z: <https://lora.vsb.cz/>

## Seznam příloh

Příloha A: Kalkulace nákladů..... |

Součástí BP je ZIP soubor.

Adresářová struktura přiloženého ZIP souboru:

2021\_KNE0044\_BP\_příloha

```
|-----> Meteostanice
|
|           |-----> css
|           |           |-----> style_meteo.css
|           |
|           |-----> img -----> podsložky s obrázky
|           |
|           |-----> program
|           |           |-----> Meteostation program.txt
|           |
|           |-----> meteo.html
|
|-----> Program
|           |-----> Program.ino
```

Příloha A: *Kalkulace nákladů ke dni 1. 4. 2021*

Počet	Položka	Cena za ks	Celkem
1x	Vnější mechanické díly k meteo WH1080 (WH1090)	850	850
1x	Adafruit Feather 32u4 RFM95 LoRa Radio	999	999
1x	Spirálová anténa 868 MHz	12	12
1x	Odbočná krabice T 100 - OBO BETTERMANN	150	150
2x	Kabelová vývodka Pg 13,5	10	20
1x	Hliníkový plech	85	85
1x	Plexisklo 50 x 25 cm	60	60
2x	Sklo 125 x 80 mm, tloušťka 2 mm	40	80
1x	Mirelon 1 m, tloušťka 5 mm	16	16
4x	Šroub M5, délka 20 mm	0,8	3,2
4x	Podložka M5	0,8	3,2
4x	Pérovka M5	0,3	1,2
4x	Matice M5	0,4	1,6
8x	Šroub M8, délka 20 mm	1,5	12
4x	Podložka M8	0,8	3,2
10x	Matice M8	0,4	4
2x	Šroub M4, délka 15 mm	0,5	1
2x	Matice M4	0,4	0,8
2x	Podložka M4	0,1	0,2
1x	Šroub M3, délka 25 mm	0,4	0,4
1x	Šroub M3, délka 15 mm	0,3	0,3
3x	Podložka M3	0,1	0,3
2x	Matice M3	0,3	0,6
2x	Vrut 3 mm, délka 7 mm	0,5	1
3x	Vrut 2,5 mm, délka 10 mm	0,5	1,5
2x	Svorka s gumou pro upevnění potrubí ke zdi 17 - 19 mm	14	28
1x	Trubka - délka 150 cm	180	180
1x	Trubka - délka 90 cm	60	60
1x	Kulatina průměr 6 mm, délka 1 m	10	10
16x	Stahovací pásek	0,3	4,8
1x	Izolační páska	7	7
1x	UTP kabel - délka 2 m	20	20
1x	Rezistor 120 kΩ	1,5	1,5
2x	Rezistor 4,7 kΩ	0,5	1
1x	Rezistor 2 kΩ	2	2
1x	Rezistor 1 kΩ	0,8	0,8
1x	Termistor NTC 10 kΩ	15	15
9x	Svorkovnice CZM 5/2 (ARK 500/2)	7	63

---

1x	Patice DIP 28 PIN 15,24 mm rozteč 2,54 mm (neprecizní)	5	5
1x	Cuprexit	22	22
1x	Dvojlinka - délka 80 cm	10	10
1x	Napájecí konektor 90°	7	7
1x	PBF teplem smrštitelná bužírka 3,2 mm	10	10
1x	Čidlo teploty a vlhkosti vzduchu ASAIR AM2302 (DHT22)	140	140
1x	Čidlo intenzity světla BH1750	55	55
1x	Vodotěsné čidlo teploty DS18B20	75	75
1x	Solar LiPoly Charger - v2	380	380
1x	Lithium Ion Polymer Battery - 3.7 V 2500 mAh	200	200
1x	Solární panel 6 V 1W	125	125
1x	Skleněná vialka (lékovka) s víčkem	10	10
1x	Kancelářská složka s klipem	25	25
1x	Zahradní hadice průměr 15 mm, délka 70 mm	2	2
1x	Sílikon	100	100
<b>Cena celkem</b>			<b>3866 Kč</b>